

ПИНЕГИНА Юлия Олеговна



Выпускная квалификационная работа

Геоморфологический контроль распределения химических элементов в растениях в пределах
горного массива Лук Йен (Северный Вьетнам)

Уровень образования: *магистратура*

Направление *05.04.02 «География»*

Основная образовательная программа ВМ.5778.2019 *«Структура, динамика и охрана
ландшафтов»*



Научный руководитель: доцент
каф. Геоморфологии, к.г.-м.н.,
Кукса Катерина Александровна

Рецензент: главный геолог ООО
«Лаборатория дистанционного
прогнозирования месторождений
полезных ископаемых», к.г.-м.н.,
Абушкевич Сергей Антонович

Структура работы:

Введение.....	3
Глава 1. Состояние изученности.....	5
1.1. Биогеохимические методы.....	5
1.2. Геологическая и геоморфологическая изученности территории.....	6
Глава 2. Материалы и методы исследований.....	8
2.1. Материалы.....	8
2.2. Методы.....	9
Глава 3. Описание района работ.....	12
3.1. Географическое положение горного массива Лук Йен.....	12
3.2. Геологическое строение района Лук Йен.....	13
3.3. Геоморфологическое строение района.....	14
3.4. Климат.....	15
3.5. Растительность.....	16
Глава 4. Результаты исследований.....	17
4.1. Анализ геоморфологической карты.....	17
4.2. Результаты геохимических исследований.....	21
Заключение.....	31
Выводы.....	33
Благодарности.....	34
Список использованных литературных и электронных источников.....	35
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	46

Введение

Объектом исследования является горный массив Лук Йен, расположенный в Северном Вьетнаме. Горный массив расположен в провинции Йен Бай, занимает площадь порядка 370 км², имеет низкогорный рельеф и с двух сторон ограничен крупными разрывными нарушениями. Массив интересен в первую очередь тем, что в его пределах располагается знаменитое месторождение рубинов и благородной шпинели Лук Йен (Long et al., 2013). Основная часть горного массива сложена рубин- и шпинелесодержащими мраморами переслаивающимися с амфиболитами и гнейсами. Положение границ между различными геологическими подразделениями и, в особенности, области развития мраморов, содержащих камнесамоцветную минерализацию, требует уточнения, поскольку самое крупномасштабное геологическое картирование (1 : 200 000) проводилось на этой территории в 1972 г., без применения дистанционных методов и в условиях плохой обнаженности и труднодоступности центральных частей горного массива.

Кроме того, одним из наиболее актуальных в настоящее время является вопрос о перспективах открытия новых проявлений камнесамоцветной минерализации. Однако, вследствие труднодоступности территорий горного массива Лук Йен здесь не могут быть применены традиционные методы поисковой геохимии с опробованием коренных пород, поэтому особый интерес представляет использование дистанционных методов предварительного дешифрирования местности, совмещенных с локальными геохимическими поисками. Для территории Северного Вьетнама с интенсивно развитым растительным покровом в качестве локального метода поиска был использован биогеохимический как наименее трудоемкий и в то же время малоиспользуемый для обнаружения камнесамоцветной минерализации (Киевленко, 1980). Полученные результаты могут в дальнейшем быть применены для поиска новых месторождений рубинов и благородной шпинели как в пределах самого горного массива, так и других территорий, в том числе в России, где развиты толщи глубокометаморфизованных мраморов (Spiridonov, 1998; Киссин и др., 2016; Dill, 2018).

В этой связи основной целью работы являлось установление закономерностей в распределении химических элементов в растениях в пределах горного массива Лук Йен (Северный Вьетнам) в зависимости от его геоморфологических особенностей и состава подстилающих коренных пород.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести геоморфологическое дешифрирование изучаемой территории и установить основные категории рельефа;

- 2) Дать количественную оценку содержания широкого круга химических элементов в растениях в пределах горного массива рентгенофлуоресцентным методом;
- 3) Установить площадные закономерности распределения химических элементов в растениях в пределах изучаемой территории;
- 4) Методами многомерной статистики выявить ассоциации химических элементов, отражающие состав подстилающих горных пород и выделенных форм рельефа;
- 5) На основе полученных результатов дать прогноз расположения участков с потенциальной камнесамоцветной минерализацией в пределах исследуемого горного массива.

Для решения поставленных задач автором было проведено геоморфологическое дешифрирование исследуемой территории, рентгенофлуоресцентный анализ химического состава растений и обработка полученных данных методами многомерной статистики (кластерный, дисперсионный анализы), построены моноэлементные карты-схемы площадного распределения химических элементов в пределах горного массива Лук Йен и составлена прогнозная карта расположения новых потенциальных месторождений рубинов и благородной шпинели.

ГЛАВА 1. Состояние изученности

1.1. Биогеохимические методы

Биогеохимия – это наука, изучающая жизнедеятельность организмов в качестве ведущего фактора миграции и распределения масс химических элементов на Земле. Основоположник биогеохимии – выдающийся естествоиспытатель и мыслитель XX в. В. И. Вернадский, созданием этой науки открыл совершенно новый и очень важный аспект познания сложного феномена жизни.

До последних лет наиболее существенное практическое применение биогеохимии было связано с деятельностью геологической службы, с так называемым биогеохимическим методом поисков месторождений полезных ископаемых. Существо этого метода заключается в измерении содержаний химических элементов в организмах, связанных с погребенными ореолами и месторождениями. За редкими исключениями, под биологической компонентой чаще всего подразумевают представителей царства растений, то есть также в качестве синонима можно использовать более точный термин «фитогеохимический». Биогеохимический метод разведки включает химический анализ тканей растений для оценки наличия и природы подстилающей минерализации, состава и структуры коренных пород, а также анализ химического состава почвенных покровов, поверхностных отложений и связанных с ними подземных вод. Это отличает его от геоботанических исследований, которые больше опираются на визуальные отличия и таким образом дают возможность выделять разные типы флоры («медно-кобальтовая», «серпентиновая» флора и т.д.).

Опыт применения биогеохимического метода в нашей стране обобщен в трудах А.Е. Ферсмана (1939), А.П. Виноградова (1954), Д.П. Малюги (1963), А.Л. Ковалевского (1975, 1984, 1991). На практике биогеохимический метод наиболее широко применялся для поисков полиметаллических и медных месторождений Средней Азии (Малюга, 1963), а также золото- и сереброрудных, бериллиевых, полиметаллических, ртутных, вольфрамовых, платиносодержащих, урановых месторождений. Однако для целей поисков камнесамоцветной минерализации никем ранее этот метод не использовался.

В публикациях, посвященных применению биогеохимического метода поиска месторождений полезных ископаемых, приводится информация об уровнях содержаний в растениях элементов-индикаторов рудной минерализации, к примеру – Au, Hg, Mn, Cd, Zn, а также о концентрациях тяжелых металлов в различных органах растений – Hg, Pb, Cd, As, Zn, Cu (Ермаков и др., 2018). Однако, данные исследования проводились в степных и тундровых районах, тогда как для гумидных районов Вьетнама биогеохимических исследований ранее не приводилось.

Второе направление биогеохимии, важное в практическом отношении, заключается в изучении влияния содержания химических элементов в окружающей среде на организмы животных и человека. В отдельных районах геохимические отклонения настолько велики, что они вызывают ответные, часто патологические реакции организмов. Такие районы получили название биогеохимических провинций и отражены в труде А.П. Виноградова (1962).

Обобщение литературных данных по химическому составу растений гумидного климата показало, что самая общая информация о круговороте химических элементов в наиболее широко распространённых тропических растительных сообществах представлена в работах Dunn С.Е., Добровольского В.В. Алексеенко В.А. Протасовой Н.А. (Dunn, 2007; Добровольский, 1998; Алексеенко, 1990; Протасова, 2001). В данных работах отмечается, что концентрация химических элементов в древесине стволов и ветвей тропических деревьев, как правило, более низкая, чем в листьях, которые образуют основную массу опада. Концентрация азота в древесине редко достигает 0,5% массы сухого вещества, а в листьях – около 2%. В листьях обычно в несколько раз выше, чем в древесине, концентрация кальция, калия, магния, натрия, кремния, фосфора. Поэтому опробование листовых пластин растений для определения площадных вариаций концентраций химических элементов считается более целесообразным (Ермаков и др., 2018). Также для гумидных территорий Амазонии, Меланезии и Западной Африке (Dunn, 2007) было установлено общее вовлечение химических элементов в биологический круговорот – в наибольшей степени вовлекаются стронций, барий, марганец, цинк, медь, молибден, никель (независимо от их содержания в почвах и почвообразующих породах), наиболее слабо вовлекаются в биологическую миграцию бериллий, цирконий, титан, ванадий (Добровольский, 1998). Однако на территории Вьетнама подобные подробные исследования не проводились.

1.2. Геологическая и геоморфологическая изученности территории

В 1965 году было проведено геологическое картирование территории Северного Вьетнама в масштабе 1:500000, при помощи Генерального департамента геологии Вьетнама и экспертов из СССР (1). Данные исследования проводились с целью определения геологического строения и минерального потенциала района. Было получено множество данных по стратиграфии мезозойских полезных ископаемых и строительных материалов региона. Кроме того, серия работ французских исследователей была посвящена условиям формирования и закономерностям распределения камнесамоцветной минерализации в пределах горного массива Лук Йен (Chauviré et al., 2015; Gamier et al., 2002; Giuliani et al., 2003). Однако все они были посвящены петрологическим проблемам образования рубинов и

благородной шпинели и их геммологическим свойствам. В то же время вопроса о выработке критериев поиска новых объектов в пределах самого горного массива, а также смежных территорий со схожим геологическим строением они касаются лишь в самых общих чертах на уровне регионального масштаба (Huong et al., 2017).

Вьетнамскими учеными (Liem et al., 2016; Trinh et al., 2012; Duong et al., 2021; Zuchiewicz, Cuong, 2006) были проведены геоморфологические исследования в области разлома Красной Реки, Северный Вьетнам. В данных исследованиях делается упор на изучении активного тектонического развития территории, которые основываются на измерении скорости горизонтальных подвижек краевых областей, а также оценка риска катастрофических землетрясений в регионе. Конкретно для района горного массива Лук Йен не было проведено каких-либо геоморфологических исследований, в которых бы была дана оценка рельефу территории. В этом плане представленная работа является пионерской.

ГЛАВА 2. Материалы и методы

2.1. Материалы

Пробы растений были отобраны в районе горного массива Лук Йен в пределах долины Бай Тай, карьера Донг Банх, карьера Тан Линх, в районе горы Йен Те, в долинах рек Ло и Гам (рис. 1).

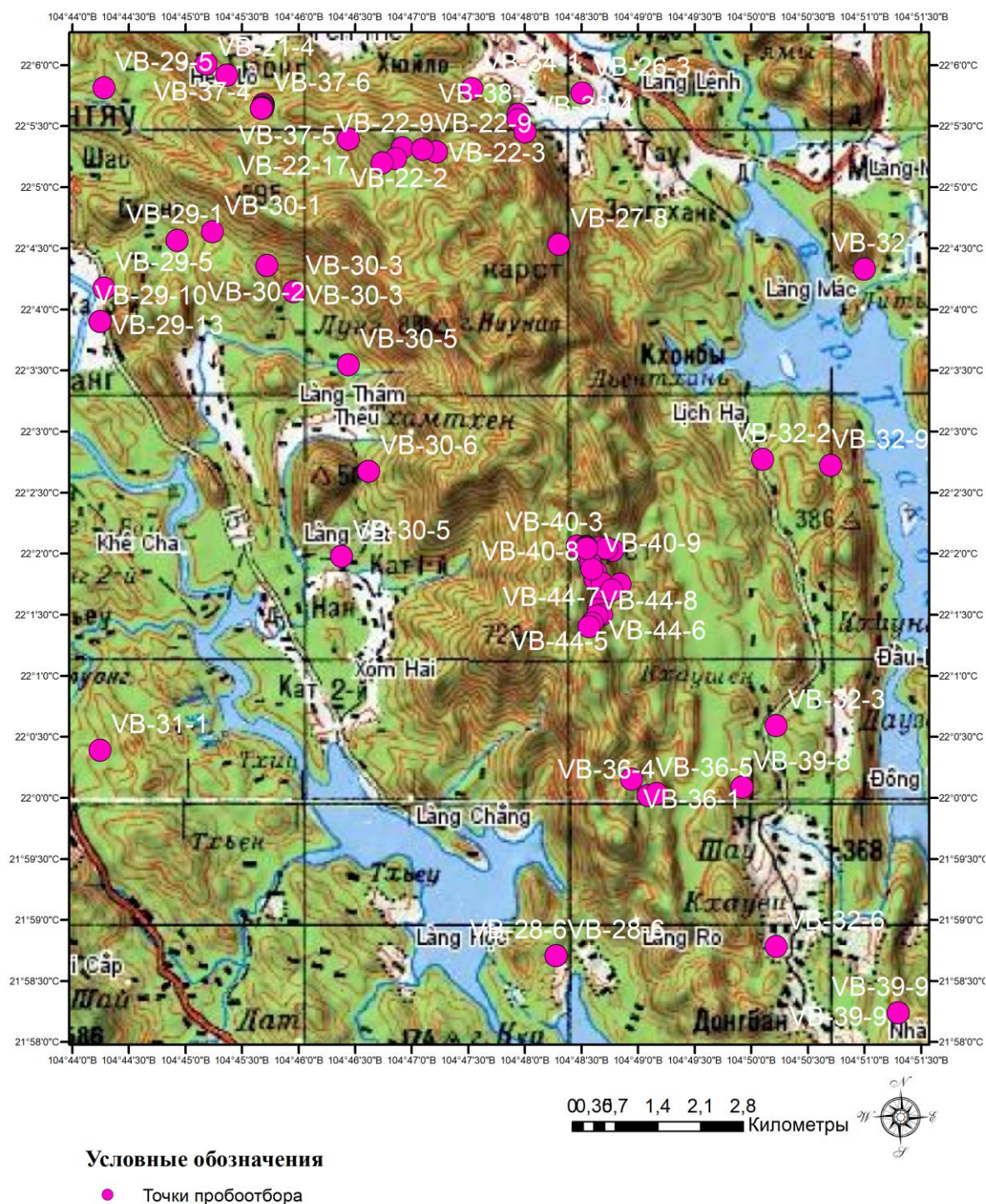


Рисунок 1. Карта-схема фактического материала

Для исследования отбирались листовые пластины преимущественно травянистых, в редких случаях кустарниковых растений (рис. 2). Всего было отобрано 72 шт. (Приложение А). Пробоотбор проводился сотрудниками каф. Геоморфологии СПбГУ и ООО «СОКОЛОВ» в ходе осенней полевой экспедиции в 2019 году.

В результате выполнения исследования на первом этапе была проведена каталогизация образцов растений. Каталог представлен в виде таблицы, которая содержит в себе № образца, название образца, место отборы пробы, подстилающие породы, координаты и видовую принадлежность растения. Определение видов проводилась Дорофеевым Владимиром Ивановичем, доктором биологических наук, ведущим научным сотрудником Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук.

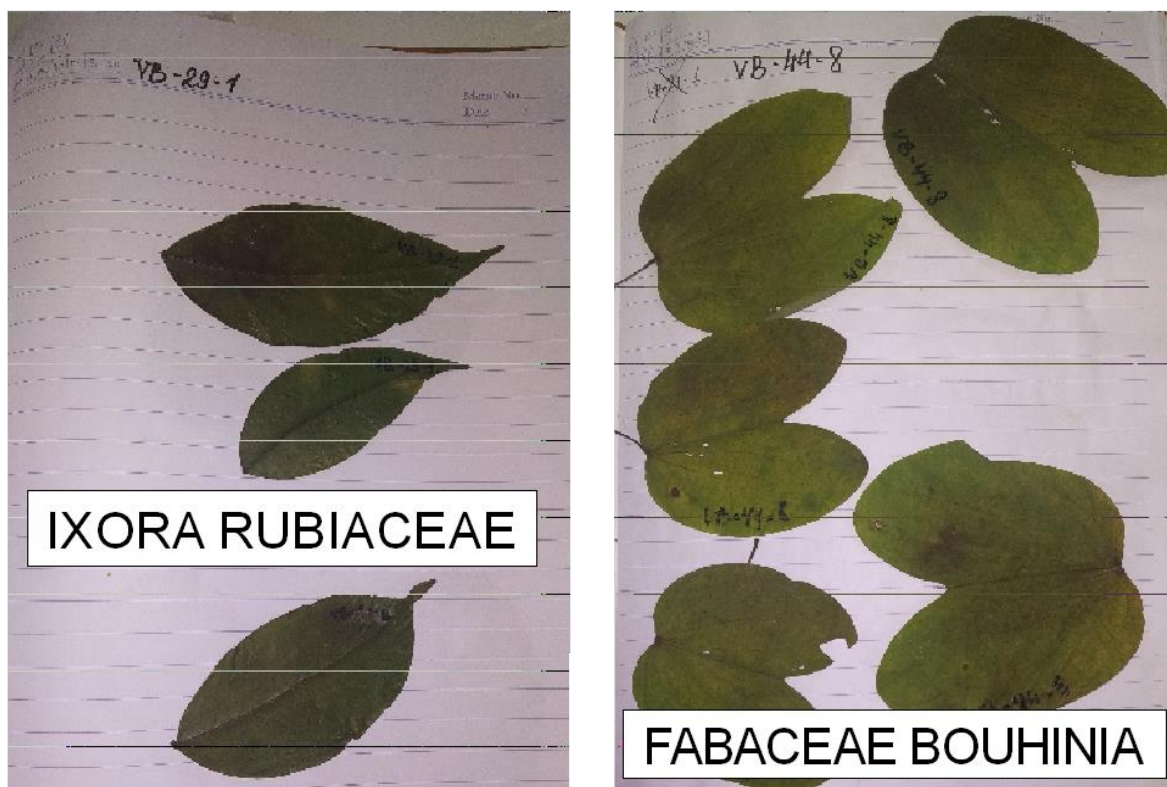


Рисунок. 2. Листовые пластины наиболее типичных растений, отобранных в пределах горного массива Лук Йен с видовым определением (фото выполнены автором)

2.2. Методы

На втором этапе был проведен химический анализ состава растений при помощи рентгенофлуоресцентного метода на спектрометре Спектроскан Макс GV. Анализ проводился в научной Лаборатории имени В.П. Кёппена, СПбГУ. Были оценены концентрации 23 химических элементов, а именно, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ca, K, Al, S, Mg, Si, P, Sr, Br, Ba, Rb, Ti, Cl, Co, Pb, As (Приложение Б).

Для выполнения анализа из каждого образца были спрессованы таблетки-излучатели на подложке из порошкообразной борной кислоты с помощью ручного лабораторного гидравлического пресса ПГР-10 при давлении в 200 Бар. Готовые таблетки помещались в спектрометр. Измерения проводились при рабочем напряжении $U=40$ kV и силе тока 2-4 мА на родиевой рентгеновской трубке, при экспозиции 20-100 сек в зависимости от уровней концентрации анализируемых элементов. Правильность выполнения анализа оценивалась по государственным стандартным образцам растительных материалов (ГСО и ОСО) с аттестованными концентрациями элементов, ошибка не превышала 5%.

Подготовка к проведению рентгенофлуоресцентного анализа включала в себя гомогенизацию (дробление и истирание листовых пластин растений), и прессование в таблетки с борной кислотой (рис. 3).

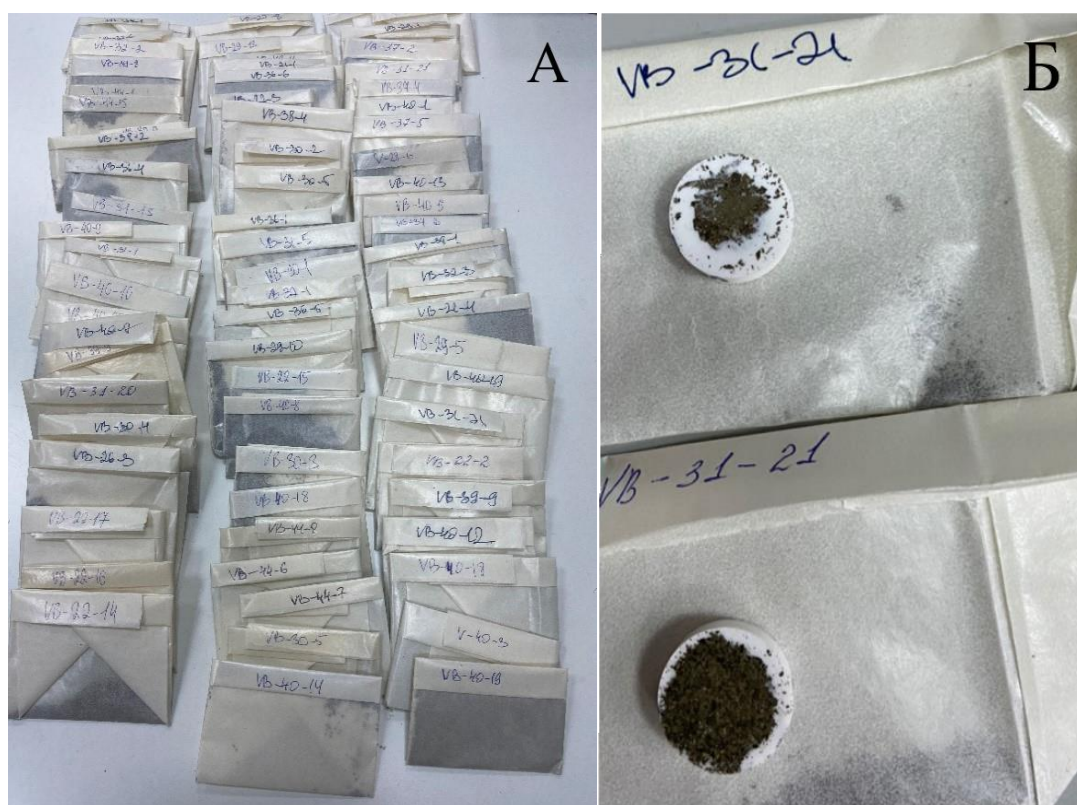


Рисунок 3. Пробы растений подготовленный к проведению рентген-флуоресцентного анализа. А - Истертые пробы. Б – Запрессованные в таблетку для спектрометра

Геоморфологическая схема была составлена непосредственно на основе топографической карты Генштаба ГосГисЦентра масштабом 1:200 000, составленные в период с 70-х по 80-е года XX века. Для её создания был использован метод дистанционного зондирования Земли. Для проведения геоморфологического дешифрирования территории были использованы снимки со спутника WorldView-1 разрешения 0,3-0,5 м/пикселей с углом

склонения солнца от 7 до 23°. Снимки были сделаны 19.01.2021 в 14:27 по местному времени при облачности от 4 до 9%. Для построения геоморфологической крупномасштабной схемы была использована методика М. В. Пиотровского (1973), которая позволила выделить «портретное» изображение рельефа с подчеркнутым отражением линейных и дуговых элементов разрывной тектоники и рельефа. Данная методика включает в себя ряд пространственных приемов, которые позволяют выделить рисунки современного морфоструктурного плана, связанным с анализом линий нетектонического рельефа, в разной степени активизированного. Составление схемы заключалось в изображении блоков и их границ по разломам и разрывным нарушениям. Фоновая раскраска итоговой схемы отражает морфологию и гипсометрию рельефа и через них – категории рельефа, а также основные литолого-стратиграфические и геолого-структурные комплексы.

Для заверки правильности построенной геоморфологической схемы территории были использованы записи полевых наблюдений, любезно предоставленные доцентом каф. Геоморфологии СПбГУ И. С. Сергеевым, выполненные им в результате полевых исследований территории горного массива Лук Йен в 2019 году.

Затем на топооснову была добавлена цифровая модель рельефа стандарта USGS DEM, которая позволила выделить несколько категорий рельефа. Затем, после установления четких дешифровочных признаков, была произведена классификация всего изображения способом географической экстраполяции с использованием программы ArcGIS 10.5.. Итоговая модель была визуализирована при помощи методов послойной окраски и добавлением на неё разрывных нарушений и водных объектов. При этом использовалась стандартная цветовая шкала от зеленого до красного.

ГЛАВА 3. Описание района работ

3.1. Географическое положение горного массива Лук Йен

Вьетнам разделен на 58 провинций, не считая 5 городов, имеющих такой же значимый статус. На севере Вьетнама находится провинция Йен Бай, включающая в себя 7 регионов: Лук Йен, Му Канг Тяй, Чан Йен, Чам Тау, Ван Тян, Ван Йен, Йен Бинь.

Горный массив Лук Йен расположен в северной части провинции Йен Бай северного Вьетнама (рис. 4). Столицей региона является город Йен Те, расположенный в северо-западной части района и находящийся в 165 км от столицы Вьетнама – Ханоя.

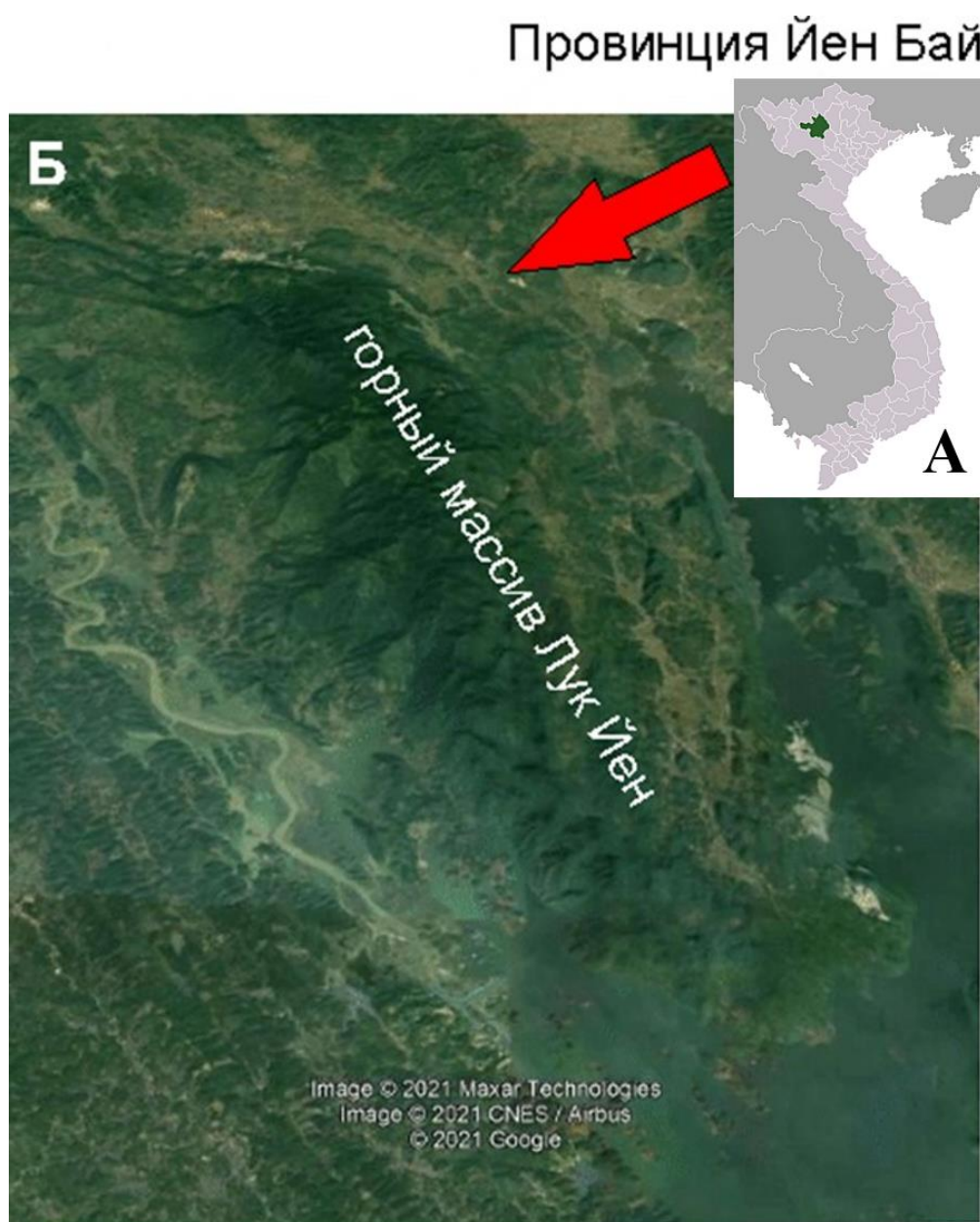


Рисунок 4. Расположение горного массива Лук Йен в пределах территории северного Вьетнама. А – Политическая карта, с выделенным на ней желтым цветом страны Вьетнам, Б – Космоснимок горного массива Лук Йен (Google Earth)

На западе, юге и востоке горный массив Лук Йен ограничен озером Тхак Ба, протяженностью порядка 80 км. Основной рельеф – горный, наиболее высокие отметки соответствуют 880 м в центральной части горного массива, перепад высот между подножием и вершинами составляет порядка 845 м. Скальные хребты имеют пирамидальную форму и разделены узкими долинами. Сильно пересеченный рельеф района исследования обусловлен в первую очередь его геологическим строением, которое будет рассмотрено ниже (Liem et al., 2016; Trinh, Liem, et al., 2012).

3.2. Геологическое строение района Лук Йен

Территорию провинции Йен Бай разделяют на две крупные зоны: Ло Гам в северо-восточной части и хребет Дей Нуи Кон Вой в юго-западной части (рис. 5). Разделяет их разлом – зона сдвига Красной реки, шириной порядка 10-15 км. Зона Ло Гам состоит главным образом из блочных мраморов, а также кристаллических сланцев и гнейсов. В ее пределах располагается горный массив Лук Йен, сложенный в основном графитовыми мраморами и переслаивающимися с ними на юго-западе слюдяными сланцами и гнейсами кембрийского возраста, относящимися к формации Так Ба (Kušnír, 2000; Leloup et al., 2001; Hauzenberger et al., 2003). При этом коренные месторождения шпинели и рубинов локализованы преимущественно в кальцит-доломитовых мраморах формации Ан Фу (Long et al, 2013) совместно с форстеритом, паргаситом, флогопитом и клиногумитом (Giuliani et al., 2017).

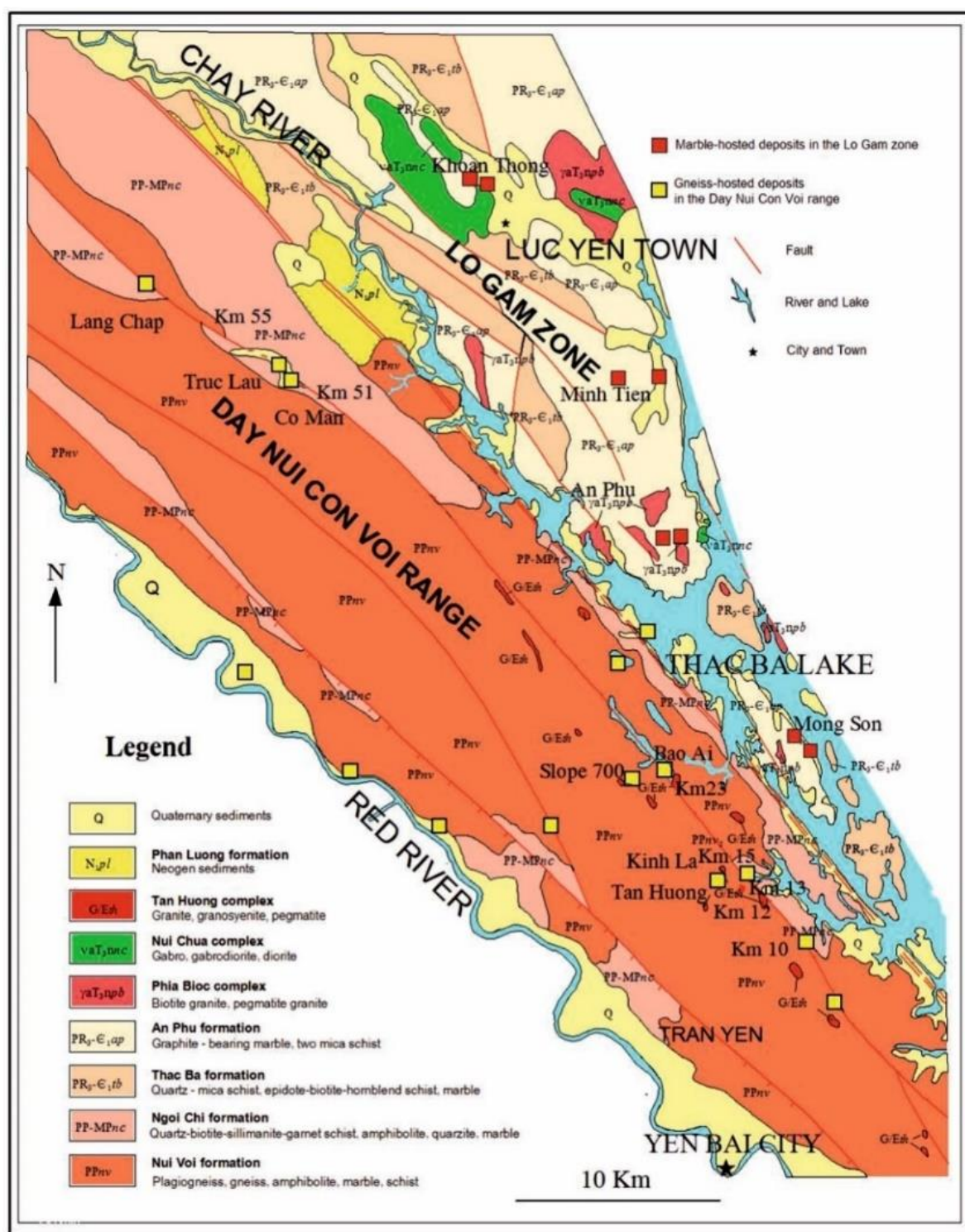


Рисунок 5. Геологическая карта Лук Йен, Северный Вьетнам (Khoi et al., 2016)

3.3. Геоморфологическое строение района

Массив Лук Йен находится в тектонически активной зоне контакта Южно-Китайской платформы и мезозоидов (мезозойские складчатые структуры) Индокитая. Здесь располагается крупная структура рифового типа с большим количеством разломов с ориентировкой с северо-запада на юго-восток. С этими разломами и докембрийскими

метаморфическими породами связана основная камнесамоцветная минерализация формаций Ан Фу и Так Ба.

Современные геоморфологические процессы в основном представляют собой направленную вверх по течению эрозию берегов реки. Многочисленные левосторонние сдвиги указывают на влияние третичной тектоники, которой подвержены большинство районов Северного Вьетнама и соседних территорий. Наиболее крупной структурной единицей территории является Зона Разлома Красной реки, которая граничит с Зоной Ло Гам и представляет собой крупный тектонический сдвиг, который отделяет Индокитай от Южного Китая. В настоящее время считается, что зона этого разлома простирается более чем на 900 км в длину и порядка 20 км в ширину (Cuongand, Zuchiewicz, 2001).

Горный массив Лук Йен можно отнести к низкогорью (высоты от 35 до 880 метров). Значение гипсометрической кривой варьируется от 0,128 до 0,37 (Liem et al., 2016). Рельеф в исследуемом районе асимметричный: наклон северо-восточной стороны меньше, чем юго-западной. Геоморфология района характеризуется большим разнообразием структурных блоков, пересечёнными различными тектоническими трещинами, которые могут достигать от сотни метров до нескольких километров в длину. Разнообразие типов рельефа района исследований и его расчлененность обусловлена тектонической активностью вместе с экзогенными процессами, которые сделали рельеф сильно разнообразным, с полосами горстов и грабенов, высокими скалами и сильно расчленёнными склонами. Кроме того, здесь обнаруживаются пещеры разной глубины, карстовые воронки и горные вершины пирамидальных форм (Trinh et al., 2012).

Основную площадь занимают интенсивно дислоцированные силикатные и карбонатные породы, в карбонатных мраморных толщах широко распространены процессы карстообразования. Современная активная тектоника в исследуемом районе в целом слаба, при этом юго-западная часть территории воздымается быстрее, чем северо-восточная (Liem et al., 2016).

3.4. Климат

Климатические условия изучаемого района носят общие черты тропического муссонного климата. По особенностям внутригодовых изменений климатической обстановки отчетливо выделяются два сезона (дождливый и сухой) Дождливый сезон длится с мая до октября, количество атмосферных осадков изменяется от 87 до 427,5 мм в месяц. В дождливый сезон суммарное количество атмосферных осадков достигает 1450 – 1860 мм, что составляет 80 – 85 % от общего из количества в год. Сухой сезон продолжается с ноября по апрель, количество атмосферных осадков изменяется от 11,8 до 66,9 мм в месяц.

Относительная влажность воздуха очень высока, в пределах исследуемого района в среднем за год она составляет 85% и в течение года изменяется от 70 до 90 %.

Среднегодовая величина испаряемости колеблется в пределах 650 – 870 мм/год.

Средняя температура воздуха в дождливый сезон составляет 28°C, а в сухой снижается до 15 °C. (Куанг, 2006).

3.5. Растительность

Большая часть территории покрыта вечнозелеными субтропическими лесами (джунглями), на исследуемой территории, в предгорьях и нижнем поясе гор, преобладают тропические леса из вечнозелёных пород семейства диптерокарповых, бобовых, пандановых, непентовых и др. С высоты 600 - 700 м распространены горные субтропические леса из вечнозелёных дубов с примесью листопадных пород (бука, каштана) и различных видов сосен. На высотах 1200 - 2000 м сосны нередко образуют чистые древостои. В подлеске тропических лесов широко распространён бамбук, местами образующий частые насаждения.

ГЛАВА 4. Результаты исследований

4.1. Анализ геоморфологической карты

Исследования показали, что данная территория относится к низкогорному рельефу, относительные высоты составляют от 35 до 880 м над у. м. Для нее характерны мягкие очертания гребней, округлые вершины, относительно пологие склоны и участки поверхностей выравнивания.

В результате проведения геоморфологического дешифрирования территории горного массива было выделено пять категорий рельефа, которые соответствуют в основном высотным ярусам, обусловленным структурно-литологическим строением территории (рис. 6, 7):

Аккумулятивный рельеф (нижний ярус).

1. Долинный рельеф – речные поймы и террасы, сложенные четвертичными аллювием, заполняющим тектонические предгорные долины (первая категория). 35-65 метров. Они занимают по площади 224,5 км² (около 12%), располагаются в центральной и восточной части изученной территории и ориентированы преимущественно в юго-восточном направлении.

Эрозионно-аккумулятивный рельеф (средний ярус).

2. Полого наклонные предгорные шлейфы на высотах 65-130 метров с маломощным чехлом четвертичных отложений на коренных метаморфических породах (вторая категория). Они простираются в основном в юго-восточном направлении и трассируют зоны крупных разрывных нарушений. Окаймляют горный массив Лук Йен с востока и запада.

3. Холмистые равнины массива Лук Йен, слаборасчлененные, в основном на метаморфических породах (третья категория). Приурочен к высотам 130-300 м. Занимает около 28% всей территории и окаймляет формы рельефа 2 категории в северной с северо-западной частях изучаемой территории.

Эрозионно-денудационный рельеф (вершинный ярус).

4. Средняя часть массива Лук Йен, умеренно расчлененная, в основном на метаморфических породах формаций Ан Фу и Так Ба на абсолютных высотах 300-600 метров (четвертая категория); занимают около 15% (57 км²) территории. Данный тип рельефа приурочен к центральной части горного массива и окаймляет последнюю категорию рельефа. На местности отображается значительными гипсометрическими повышениями территории.

5. Верхи рельефа – сильно расчлененная наиболее высокая часть массива Лук Йен, развитая на мраморах, более 600 метров. Занимает около 5% (18 км²), что является наименее распространенным по площади типом рельефа.

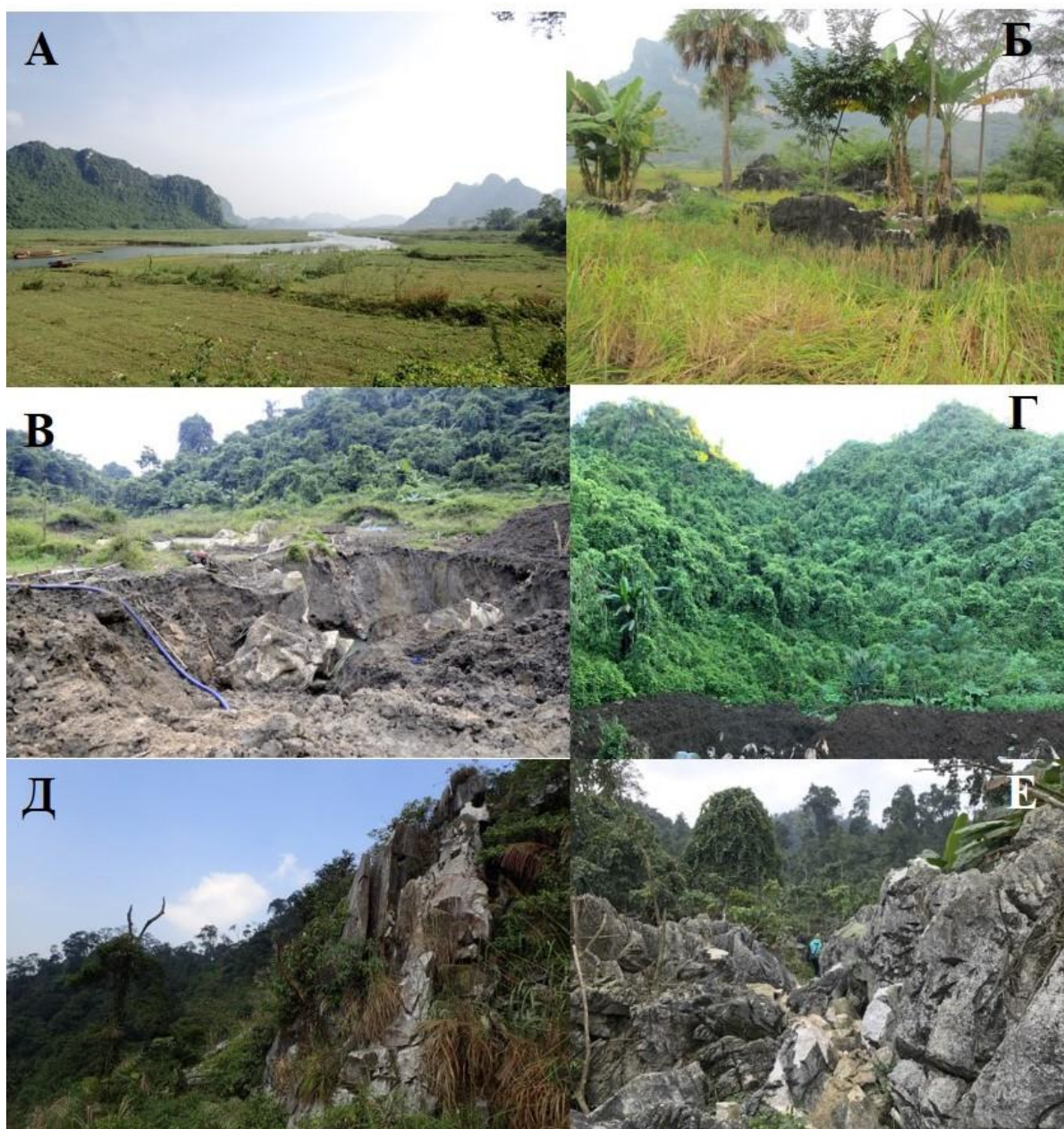


Рисунок 6. Фото типов категорий рельефа: А – первая категория; Б – вторая категория; В – третья категория; Г – четвертая категория; Д, Е – пятая категория рельефа (фото Кукса К.А.)

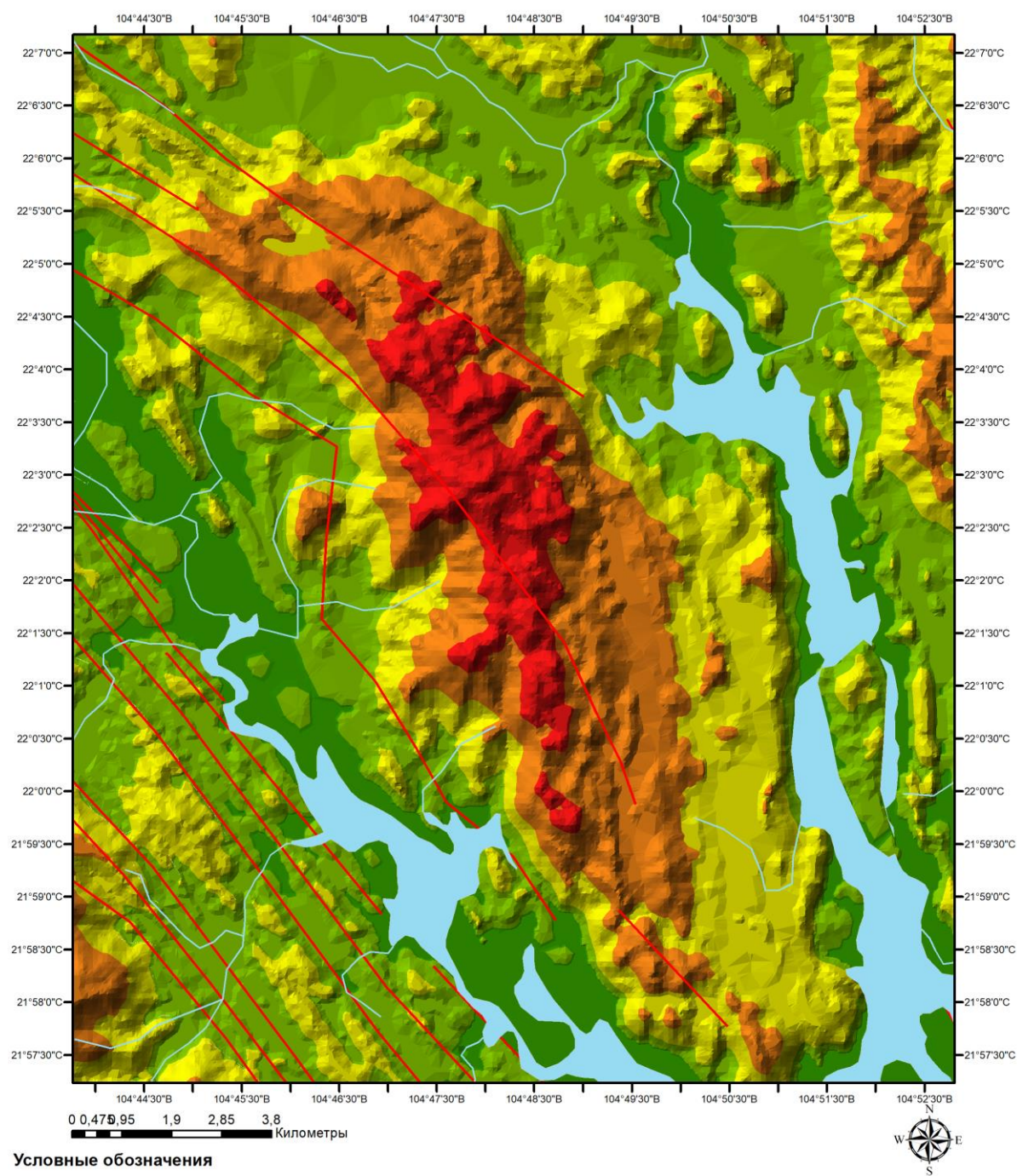


Рисунок 7. Геоморфологическая схема территории горного массива Лук Йен

Анализ пространственного распределения выделенных категорий рельефа показал (рис. 8), что первый тип категории рельефа можно приурочить к аллювиальным отложениям четвертичного возраста, находящихся в поймах рек и временных водотоков, заполняющих тектонические предгорные долины.

Вторую категорию рельефа (полого наклонные предгорные шлейфы с маломощным чехлом четвертичных отложений на коренных метаморфических породах) можно в большей части отнести к формации Фанг Лонг, которая окаймляет собой по всему периметру четвертичные отложения. Данная категория рельефа в основном занимает, также как и первая категория рельефа, тектонические предгорные долины.

Третья категория (холмистые подножия массива Лук Йен, слаборасчлененные, в основном на метаморфических породах) мы можем отнести к формации Нуи Вой, которая располагается в западной части исследуемой территории и сложена плагиогнейсами, гнейсами, амфиболитами, мраморами и сланцами. Ее своеобразие обусловлено главным образом широким развитием мощных кор выветривания по силикатным породам, в результате чего формируются пологие холмы с незначительными перепадами высот.

Четвертая категория, характерная для умеренно расчлененного рельефа, развита в основном на метаморфических породах формаций Ан Фу и Так Ба. Она занимает большую часть формации Так Ба, распространенной на западе, севере и северо-западе территории, а также небольшую часть формации Ан Фу в восточной и южной частях исследуемой территории.

Наиболее сильно расчлененная пятая категория рельефа полностью располагается на мраморах формации Ан Фу. Она занимает центральную часть территории, и именно в ее пределах сосредоточены практически все известные коренные месторождения камнесамоцветной минерализации.

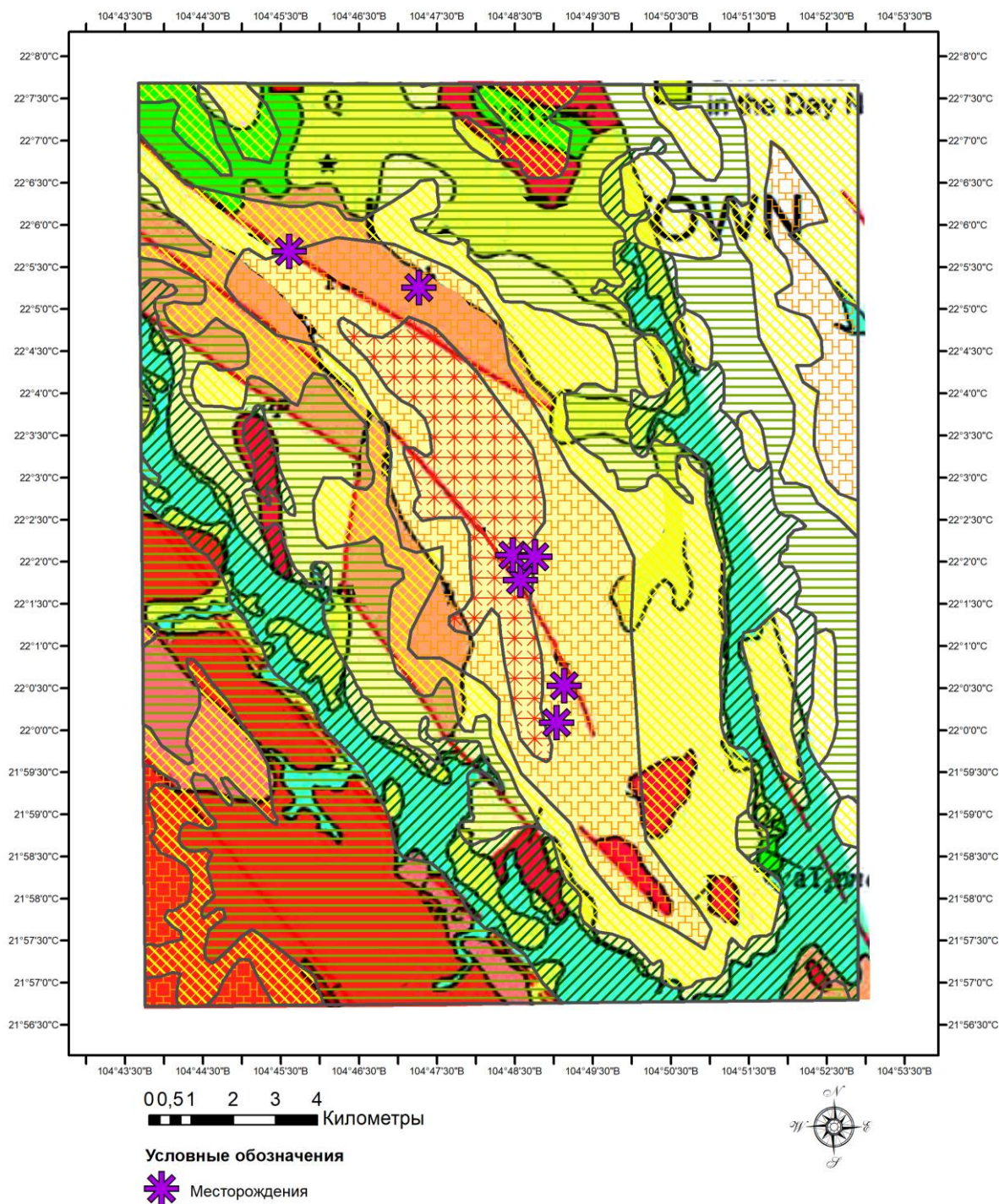


Рисунок 8. Пространственное распространение основных выделенных категорий рельефа на схеме геологического строения горного массива Лук Йен

4.2. Результаты геохимических исследований

В ходе выполнения работы был изучен химический состав растений, отобранных в разных частях горного массива Лук Йен. Результаты анализа представлены в Приложении А, Таблица 3, основные статистические параметры распределения элементов суммированы в

Приложении Б, Таблица 4. Как видно из полученных данных, основными элементами из проанализированных в составе растений являются: Si, Al, P, K, Ca, Cl и S. Остальных содержатся в количестве первых десятков и сотен г/т – Fe, Mn, Rb, Cu, Ba, Zn, Sr, Ti, Pb, Ni и Cr. Наиболее низкие содержания установлены для As, V и Co (первые доли г/т).

Сравнение составов разных видов растений, отобранных в одной и той же точке опробования, показало, что для большинства элементов практически нет отличий в уровнях содержания между разными видами/родами и даже семействами растений (рис. 9).

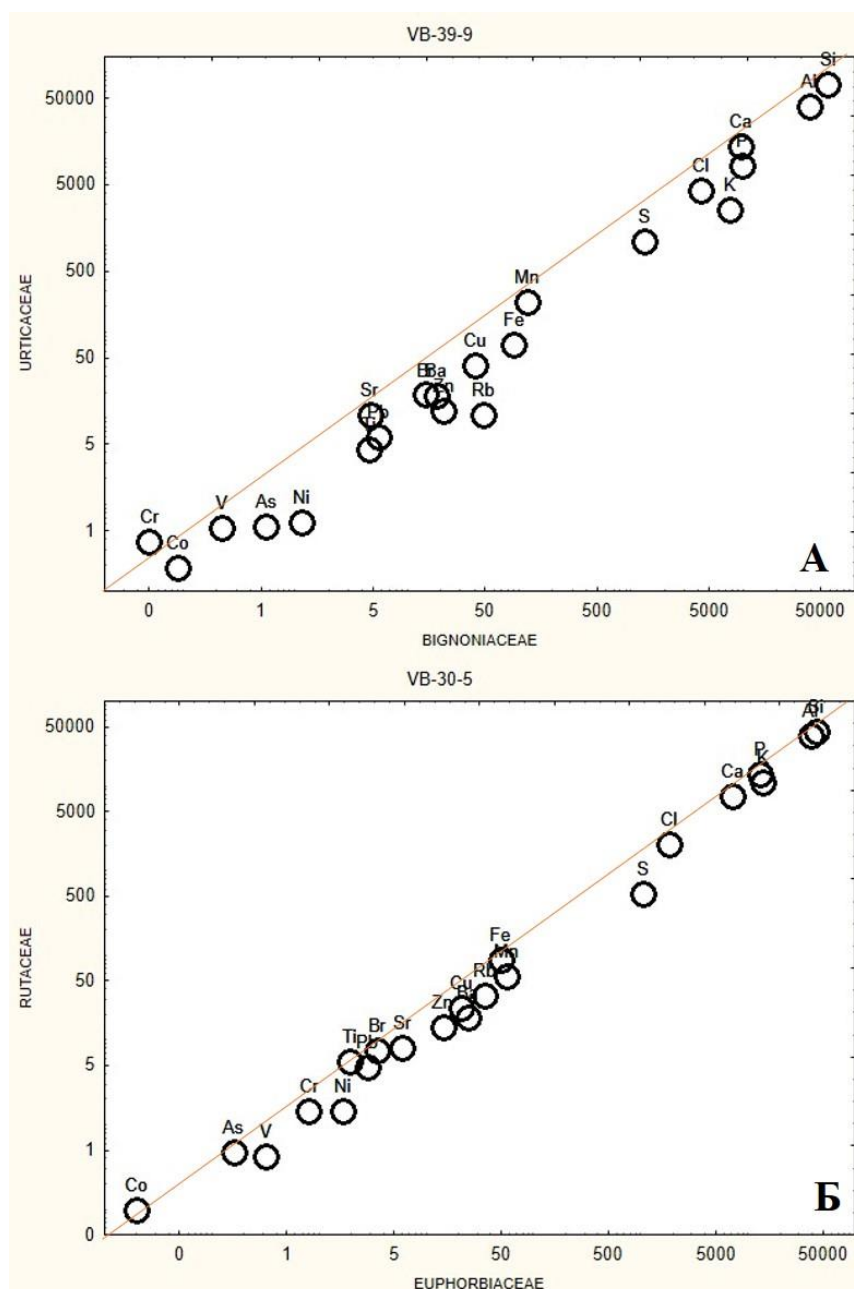


Рисунок 9. Диаграммы распределения химических элементов в растениях: А – *Urticaceae* и *Bignoniaceae*, отобранных в пределах точки опробования VB-39-9; Б – *Rutaceae* и *Euphorbiaceae*, отобранных в пределах точки опробования VB-30-5

Только распределение Pb и As в пределах изучаемого объекта подчиняется нормальному закону. Для большинства химических элементов (V, S, Cl, Br, Zn, Ni, Fe, Mn, Cr, K, Sr, Ba, Br, Rb, Ti, Co) установлено логарифмически нормальное распределение, а содержания в растениях P, Si, Al, Ca и Cu имеют отчетливо бимодальное распределение (рис. 10).

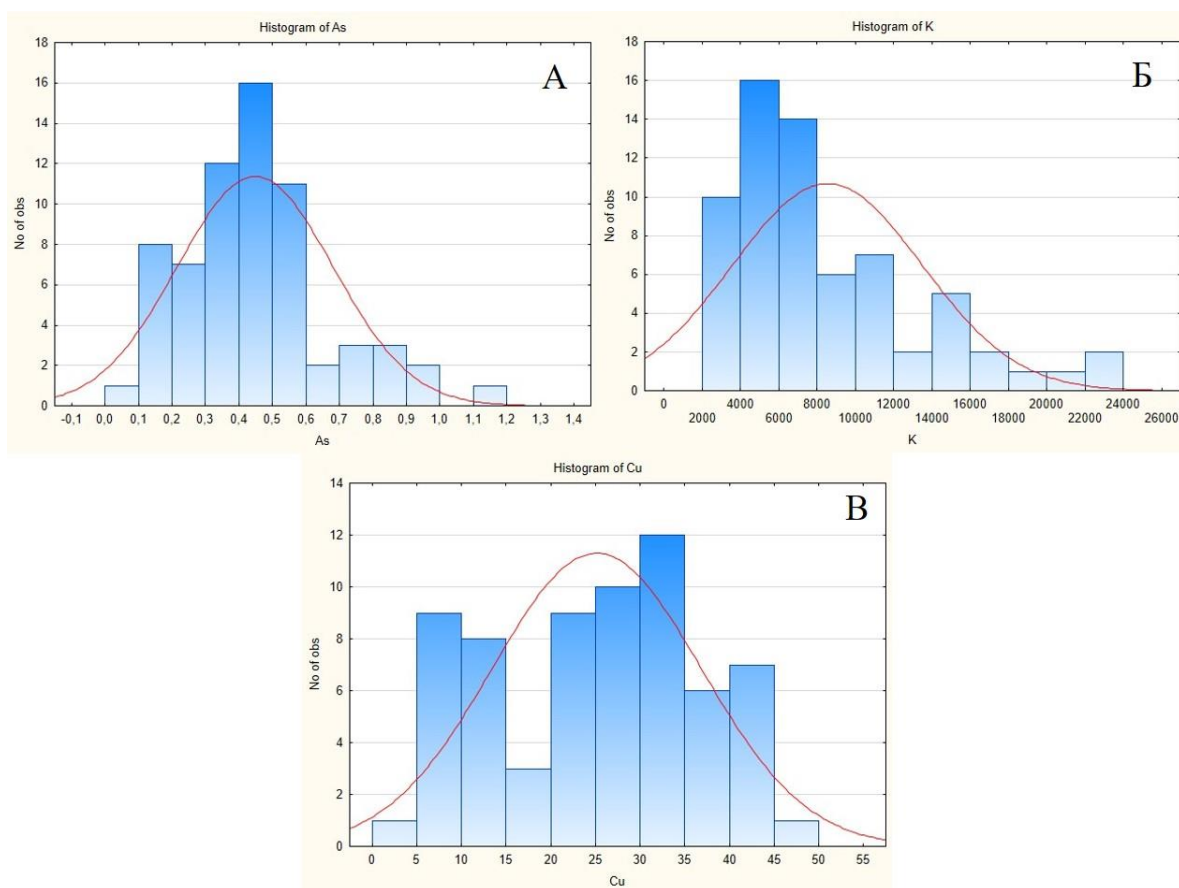


Рисунок 10. Гистограммы распределения химических элементов: А – As, нормальный закон распределения; Б – К, логарифмически нормальный закон распределения; В – Cu, бимодальное распределение

Для обработки данных методами многомерной статистики была сформирована однородная геохимическая выборка, из которой были исключены anomalно высокие и anomalно низкие значения, выходящие за трехсигмовый интервал.

Анализ закономерностей в распределении элементов в составе растений, произрастающих на различных типах пород методом t-теста, показал, что растения, отобранные на силикатных породах (кристаллических сланцах), статистически значимо

отличаются по уровням содержаний Ni, Mn и Al от растений, произрастающих на мраморах (Таблица 1).

Таблица 1. Результаты t-теста составов растений, произрастающих на разных типах пород. Красным цветом выделены элементы, для которых установлены статистически значимые уровни различия

	Растения, произрастающие на кристаллических сланцах	Растения, произрастающие на мраморах	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
Zn	20,95	18,97	0,28366	53	0,777779	2	53	8,621	9,72	1,270	1,000000
Cu	13,91	25,33	1,37455	53	0,175055	2	53	12,885	11,51	1,253	0,536239
Ni	2,27	0,93	2,18509	53	0,033324	2	53	2,562	0,78	10,782	0,003674
Fe	115	86,94	0,83869	53	0,405412	2	53	95,309	45,28	4,430	0,080337
Mn	451	105	2,41976	53	0,018994	2	53	593	182	10,531	0,004111
Cr	0,62	1,51	0,60309	53	0,549020	2	53	0,191	2,08	118	0,145522
V	0,35	0,45	0,34147	53	0,734097	2	53	0,147	0,40	7,271	0,575484
Ca	8897	15754	1,04797	53	0,299409	2	53	3521	9157	6,762	0,595729
K	11321	8357	0,86911	53	0,388706	2	53	2043	4770	5,451	0,659609
Al	725	28119	2,26629	53	0,027542	2	53	608	16941	775	0,057004
S	1822	1282	0,77327	53	0,442797	2	53	31,921	979	941	0,051753
Si	280	37560	1,84530	53	0,070584	2	53	314	28314	8099	0,017646
P	1375	6837	1,53134	53	0,131634	2	53	1105	4997	20,424	0,348505
Sr	7,56	10,34	0,46869	53	0,641211	2	53	3,249	8,30	6,524	0,605941
Br	8,98	19,99	0,37310	53	0,710559	2	53	9,529	41,33	18,816	0,362840
Ba	13,32	18,62	0,25022	53	0,803381	2	53	5,412	29,68	30,081	0,287932
Rb	35,30	23,83	0,66522	53	0,508797	2	53	26,629	23,89	1,242	0,540454
Ti	13,25	6,41	1,96009	53	0,055252	2	53	9,585	4,71	4,143	0,093853
Cl	1789	3754	1,03075	53	0,307340	2	53	2460	2649	1,160	1,000000
Co	0,11	0,16	0,53813	53	0,592737	2	53	0,061	0,14	4,984	0,687898
Pb	3,90	5,33	0,87680	53	0,384553	2	53	2,670	2,25	1,409	0,481100
As	0,13	0,46	2,01812	53	0,048653	2	53	0,108	0,23	4,554	0,717382

Однако значимых отличий в распределении элементов между растениями, растущими над разными типами мраморов (с камнесамоцветной минерализацией и пустыми) выявить не удалось. Тем не менее, анализ пространственного распределения элементов в растениях в пределах изученной территории показал, что имеются определенные закономерности в зависимости от состава подстилающих коренных пород и выделенных форм рельефа.

В целом, можно выделить четыре основные группы элементов, которые имеют одинаковый характер распределения по территории. К первой группе относятся Al, K, Cl, Cu, P, Si, Ba, Br, Ca и Cr, максимальные концентрации которых приурочены к юго-западной и центральной частям исследуемой территории (рис. 11, 12, 13) и распространены в основном в областях распространения четвертой и пятой категорий рельефа.

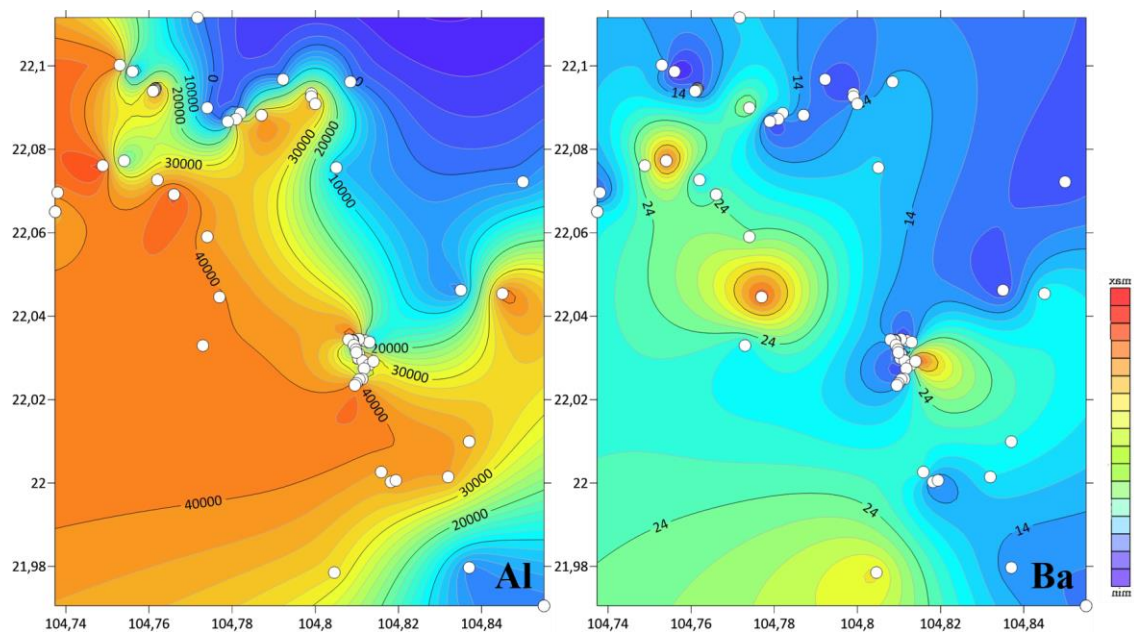


Рисунок 11. Карты-схемы площадного распределения Al и Ba в растениях в пределах горного массива Лук Йен

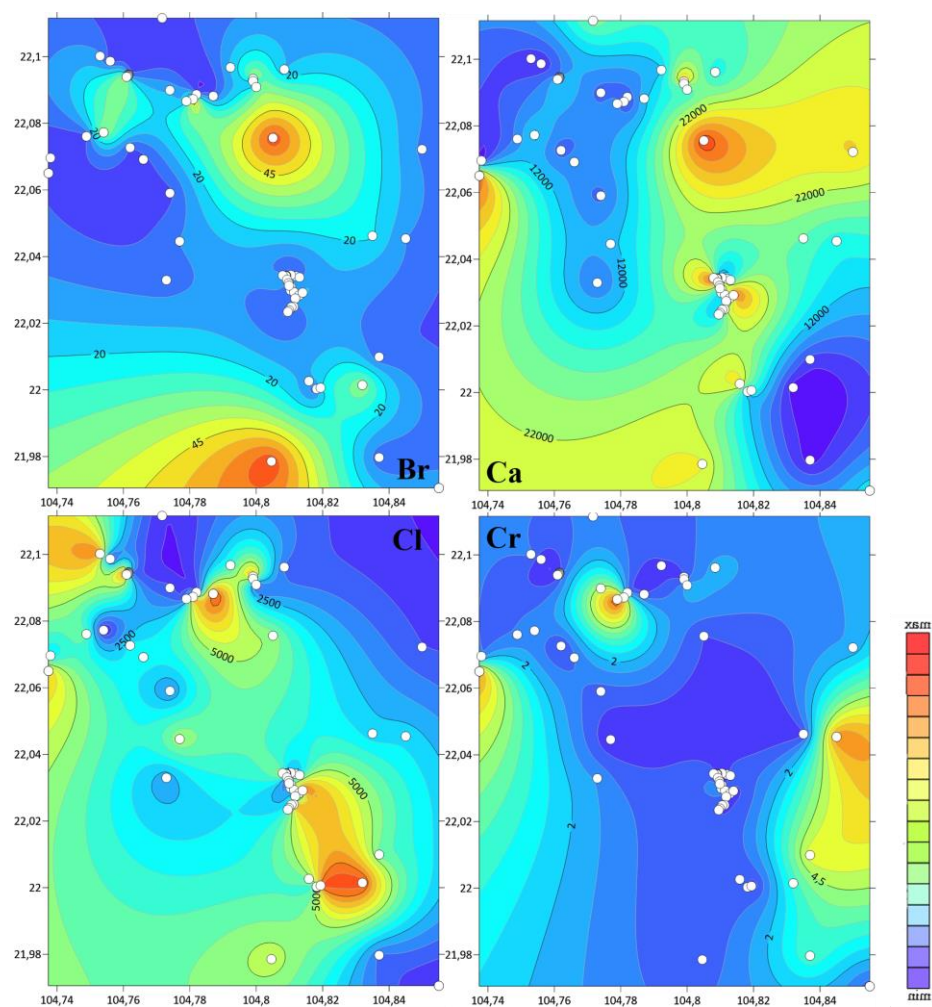


Рисунок 12. Карты-схемы площадного распределения Br, Ca, Cl и Cr в растениях в пределах горного массива Лук Йен

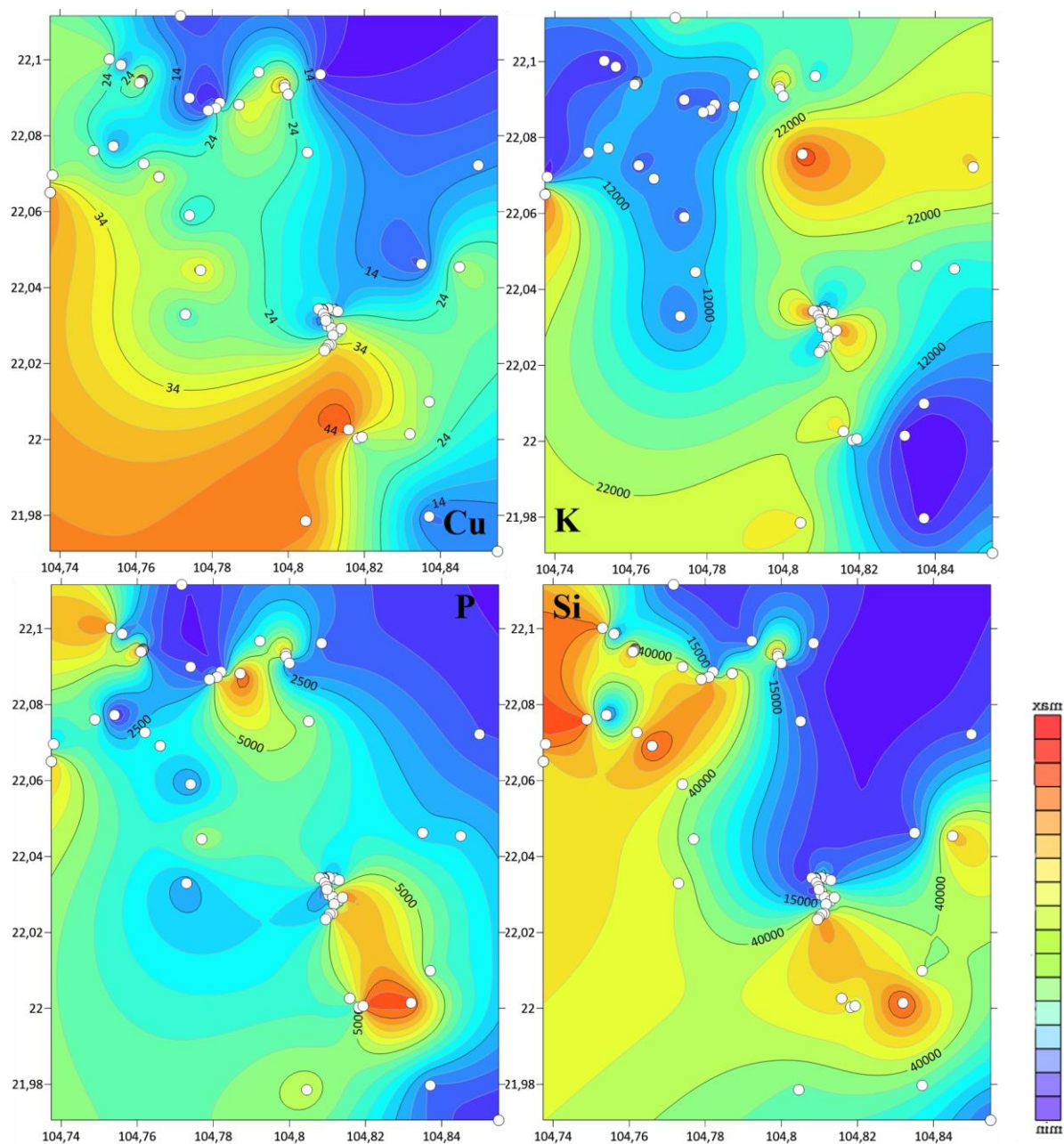


Рисунок 13. Карты-схемы площадного распределения *Cu*, *K*, *P* и *Si* в растениях в пределах горного массива Лук Йен

Ко второй группе относятся *Mn*, *Ti*, *V*, *Zn*, *As* (рис. 14), их максимальные концентрации приурочены к северо-восточной и центральной частям территории, где преобладает третья категория рельефа.

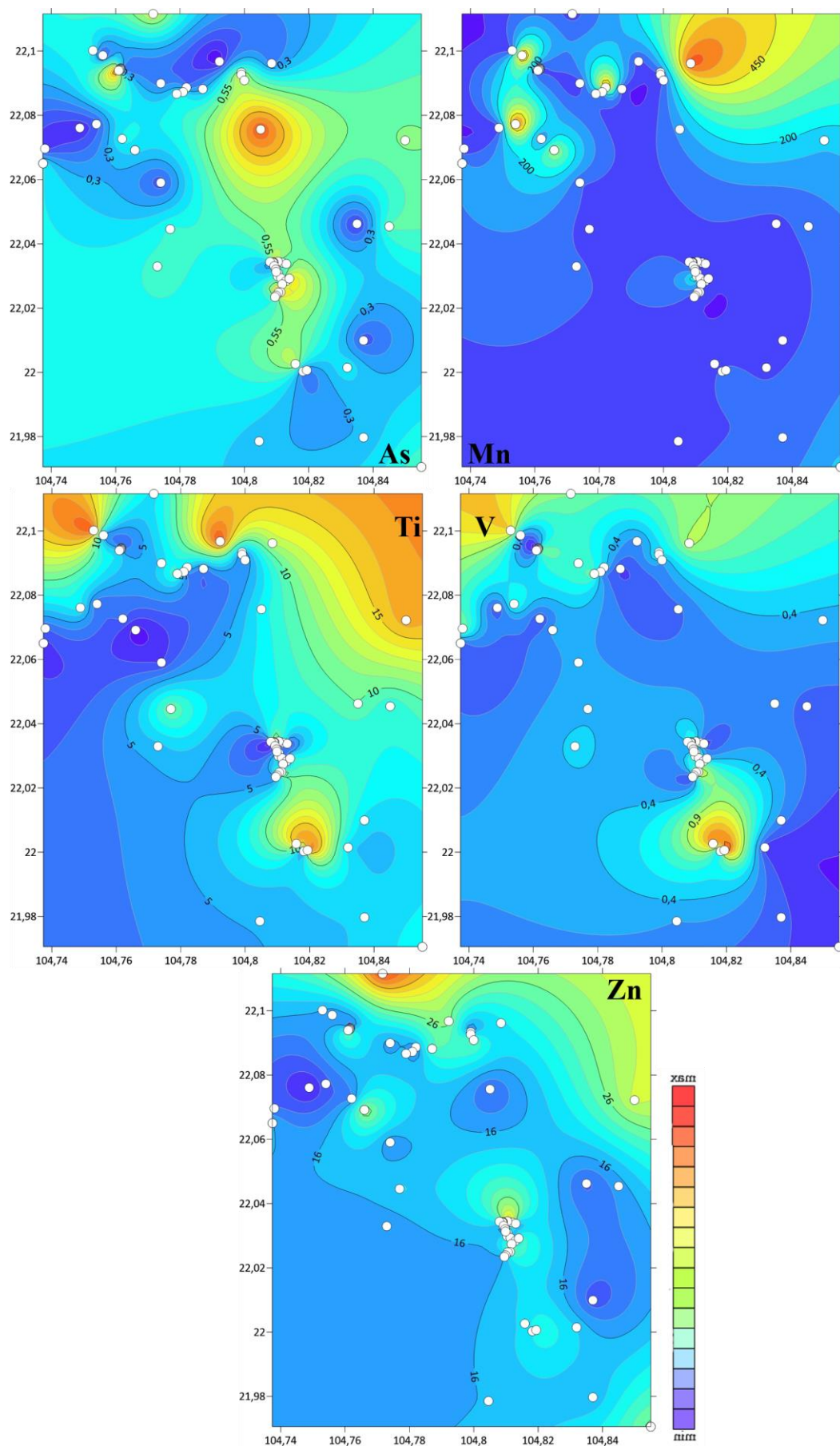


Рисунок 14. Карты-схемы площадного распределения As, Mn, Ti, V и Zn в растениях в пределах горного массива Лук Йен

К третьей группе относятся S, Ni, Fe, Sr, Rb и Co (рис. 15, 16), они имеют неравномерный (пятнистый) характер распространения без четко проявленных закономерностей.

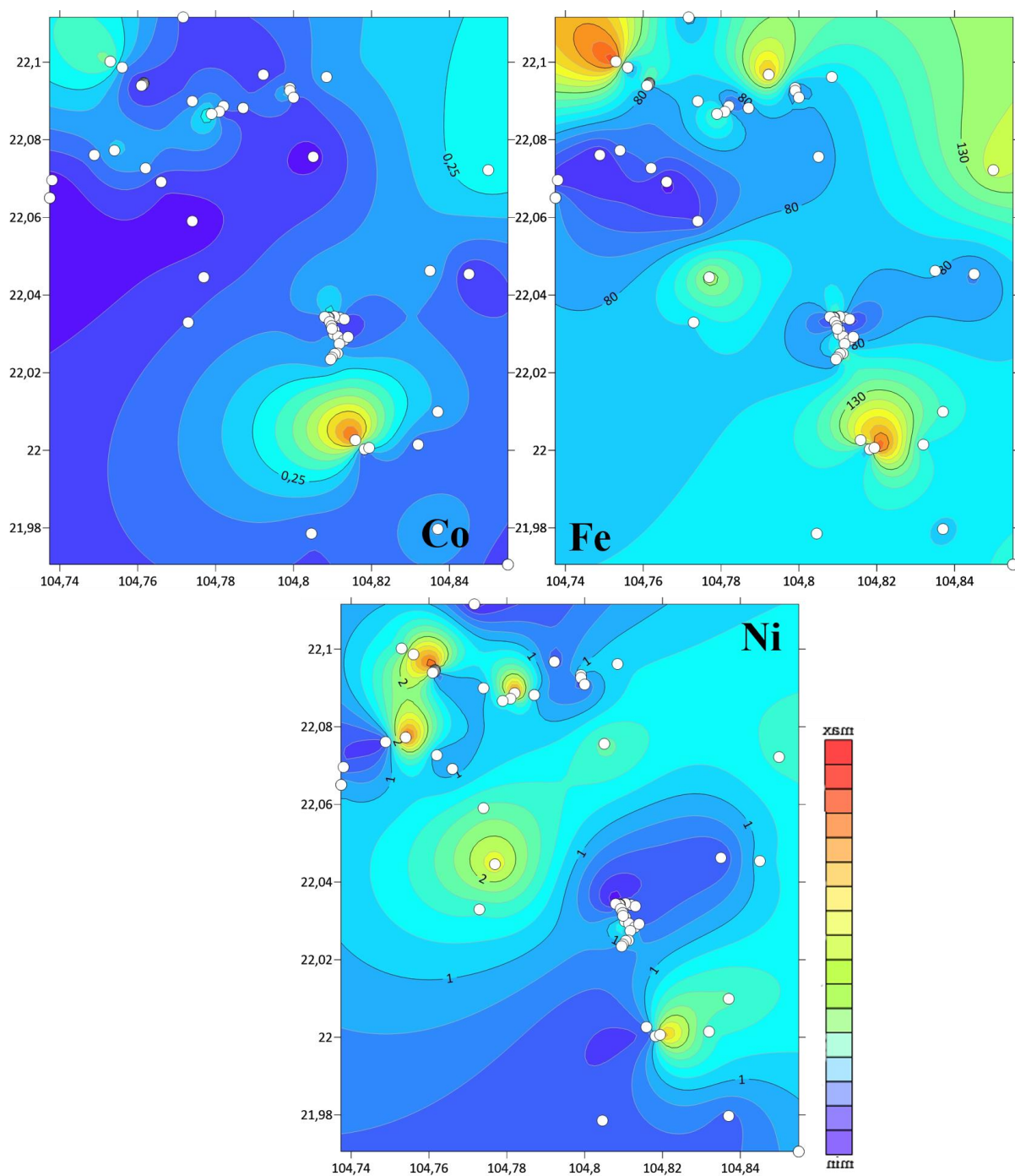


Рисунок 15. Карты-схемы площадного распределения Co, Fe и Ni в растениях в пределах горного массива Лук Йен

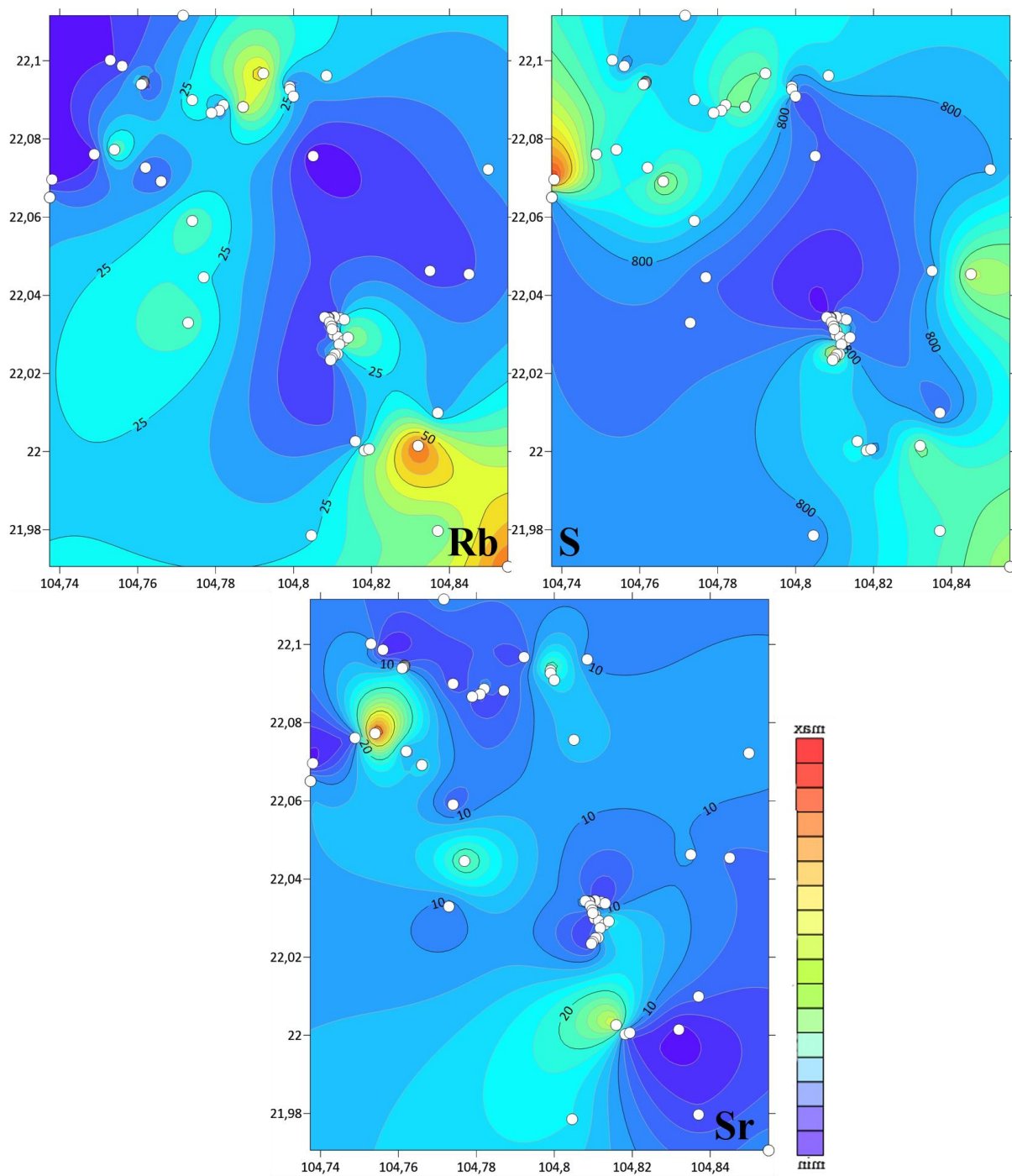


Рисунок 16. Карты-схемы площадного распределения Rb, S и Sr в растениях в пределах горного массива Лук Йен

Обобщение данных по геологическому строению территории горного массива и площадному распределению элементов показало, что можно выделить несколько индикаторных элементов – Ni, Co и Fe – максимальные содержания которых в отобранных растениях совпадают с участками проявления коренных месторождений рубинов и шпинели в мраморах (рис. 17).

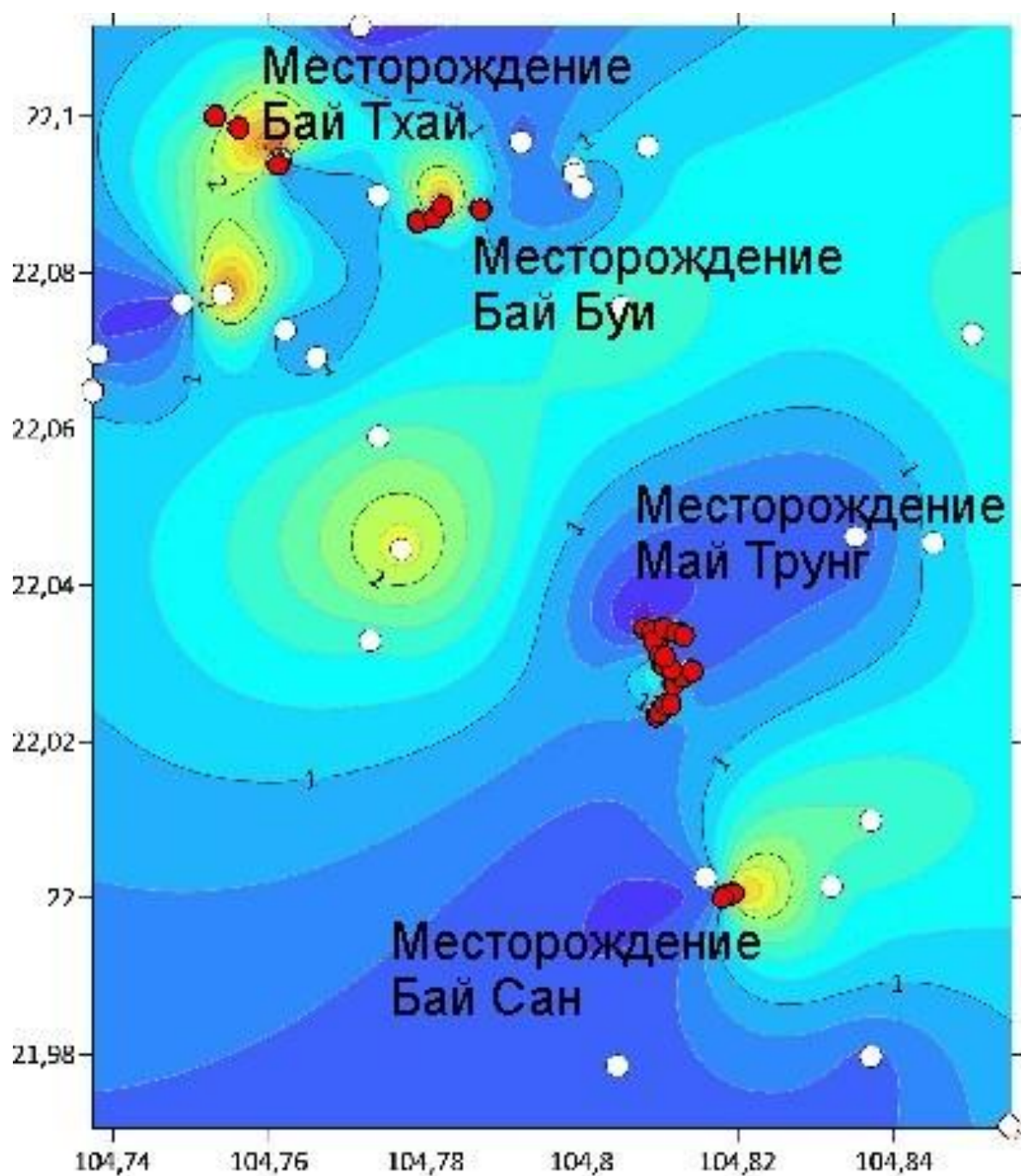


Рисунок 17. Схема площадного распределения элементов-индикаторов камнесамоцветной минерализации в растениях в пределах горного массива Лук Йен (на примере Ni). Красными точками показано расположение коренных месторождений рубинов и шпинели в мраморах.

Заключение

В представленной работе впервые было выполнено геоморфологическое дешифрирование территории горного массива Лук Йен (Северный Вьетнам) на основе анализа топографической карты Генштаба ГосГисЦентра масштабом 1:200 000, космического снимка со спутника WorldView-1 и цифровой модели рельефа стандарта USGS DEM. При этом было выделено 5 категорий рельефа, области развития которых приурочены к разным геологическим формациям. Результаты проведенных исследований показали, что с наибольшей вероятностью новые потенциальные месторождения рубинов и шпинели находятся в апикальной части горного массива, в пределах которой распространена четвертая и пятая категории рельефа – в средней части массива Лук Йен на метаморфических породах формаций Ан Фу и Так Ба на абсолютных высотах более 300 м.

Также впервые для данной территории был изучен химический состав листовых пластин разных растений и установлены общие закономерности площадного распределения элементов. Методами многомерной статистики были выделены группы элементов, позволяющие отличить состав подстилающих коренных пород, на которых произрастают данные растения – мраморов и силикатных пород (кристаллических сланцев и гнейсов). Кроме того, были установлены элементы, являющиеся индикаторами наличия в мраморах камнесамоцветной минерализации – Ni, Fe и Co. На картах распределения данных элементов в западной части выделенной по геоморфологическим данным области наблюдаются две аномалии, где пока не известны проявления рубинов и шпинели (рис.18). Соответственно, можно рассматривать эти два участка как наиболее перспективные для обнаружения новых проявлений камнесамоцветной минерализации.

Проведение предварительного геоморфологического дешифрирования местности позволяет сократить область постановки локальных биогеохимических поисков до 20% от всей исследуемой территории. Последующее изучение химического состава растений, отобранных в пределах данной ограниченной территории, и обработка данных методами статистического анализа, повышает точность прогноза и сужает область перспективную для обнаружения камнесамоцветной минерализации до первых сотен метров. Применение разработанного комплекса методов позволит дать прогноз расположения новых месторождений рубинов и шпинели как в пределах исследуемого горного массива, так и для сопредельных территорий.

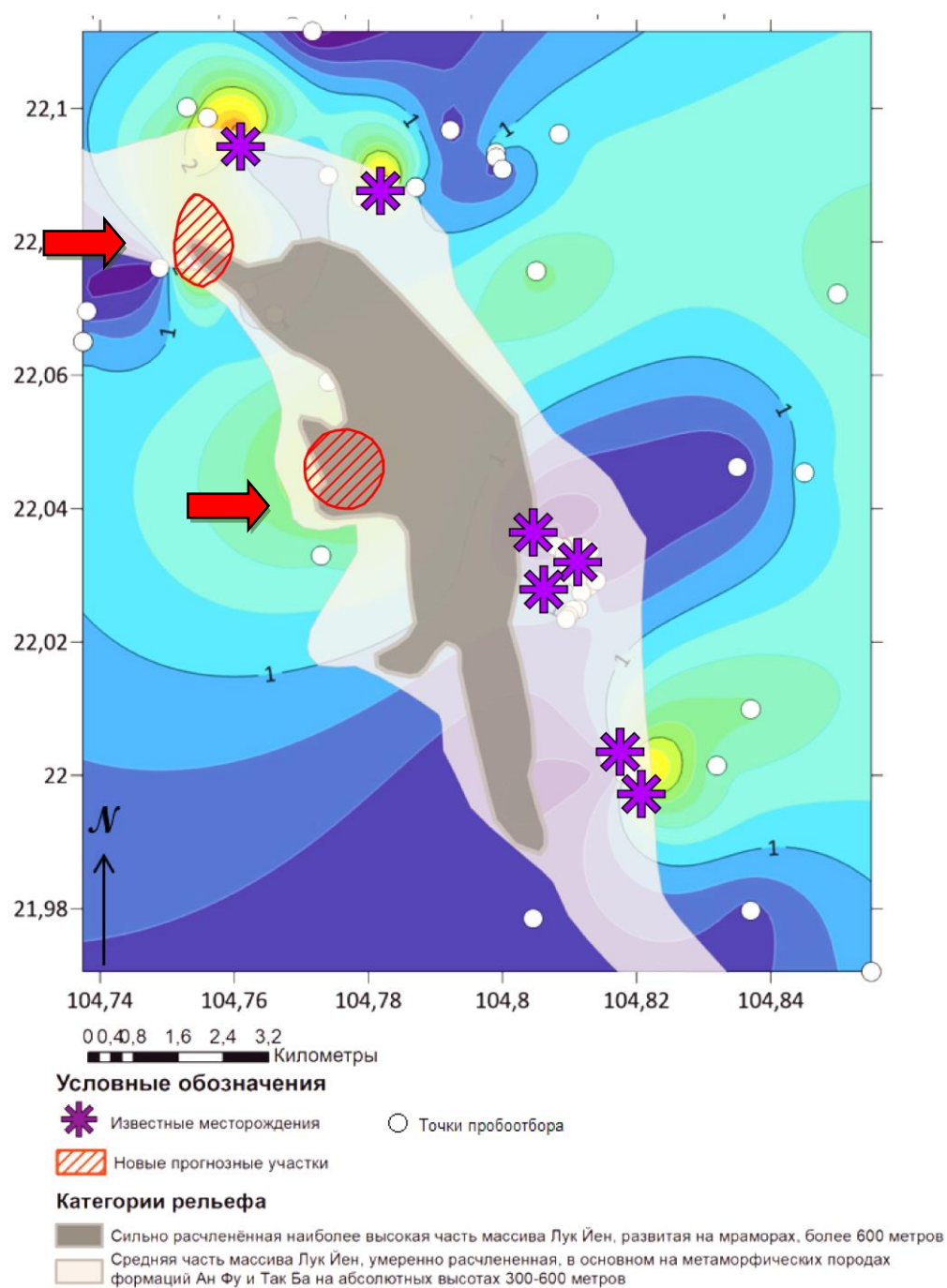


Рисунок 18. Прогнозная карта расположения потенциальных участков рубиновой и шпинелевой минерализации в пределах горного массива Лук Йен

Выводы

В результате совместного анализа данных геологии, геоморфологии и геохимии растительного покрова в пределах горного массива Лук Йен можно сделать следующие выводы:

1) Геоморфологическое дешифрирование территории позволило выделить 5 категорий рельефа, которые имеют тесную взаимосвязь с геологическим строением. Область развития мраморов, содержащих камнесамоцветную минерализацию приурочена главным образом к областям распространения 4 и 5 категорий рельефа;

2) Установлено, что химический состав растений зависит в первую очередь от состава коренных пород, а не от видовой принадлежности растений. При этом по уровням содержаний Al, Mn и Ni растения на силикатных породах и мраморах статистически значимо различаются. Это позволяет оконтурить границы контрастных по составу геологических толщ по результатам биогеохимических исследований в условиях плохой обнаженности;

3) Площадное распределение отдельных индикаторных элементов (Ni, Co и Fe) в растениях показывает, что наиболее высокие их содержания приурочены к известным месторождениям рубинов и благородной шпинели;

4) Геоморфологическое дешифрирование местности, совмещенное с последующим биогеохимическими исследованиями, может быть эффективно использовано для прогноза новых потенциальных месторождений рубинов и благородной шпинели в пределах исследуемого горного массива и прилегающих территорий.

Благодарность

Автор выражает благодарность Павлу Борисовичу Соколову (ООО “Соколов”) за предоставленные для работы материалы, Владимиру Ивановичу Дорофееву, доктору биологических наук, ведущего научного сотрудника Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук, за определение видовой принадлежности отобранных для исследования растений. Также выражаю благодарность Игорю Сергеевичу Сергееву (доценту каф. Геоморфологии Института наук о Земле, СПбГУ) и Сергею Фадеевичу Болтрамовичу (к.г.н., доценту каф. Геоморфологии Института наук о Земле, СПбГУ) за помощь при создании и интерпретации геоморфологической карты. Марине Юрьевне Опекуновой старшему научному сотруднику лаборатории геоморфологии института географии им. В.Б. Сочавы сибирского отделения Российской академии наук за помощь в написании раздела по геоморфологии и помощи в доработке геоморфологической схемы.

Часть исследований была выполнена в Ресурсных Центрах Научного парка СПбГУ: “Методы Анализа Составы Вещества”, “Геомодель”, “Оптические и Лазерные Методы Исследования Вещества”, “Нанотехнологии”.

Список использованных литературных и электронных источников

1. Chauviré B., Fritsch E., Devidal J.L. Blue Spinel from the Luc Yen district of Vietnam // *Gems and Gemology*, 2015. № 51. P. 2–17.
2. Cuongand N.Q., Zuchiewicz W.A. Morphotectonic properties of the Lo River Fault near Tam Dao in North Vietnam // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2001. №1. P. 15–22.
3. Dill H.D. Gems and Places – A Genetic Relationship Par Excellence // *Minerals*, 2018. №8. P. 1–44.
4. Dunn C.E. Biogeochemistry in Mineral Exploration. Netherlands: Elsevier, 2007, 480 p.
5. Duong N.A., Chinh V.V. Some geomorphic indices in the North Central Vietnam // *Geosciences Journal*, 2021. № 25. P. 22–38.
6. Garnier V., Giuliani G. et al. Ar-As ages in phlogopites from marble-hosted ruby deposits in northern Vietnam: evidence for Cenozoic ruby formation // *Chemical Geology*, 2002. № 188. P. 33–49.
7. Garnier V., Giuliani G., et al. Marble-hosted ruby deposits from central and Southeast Asia: towards a new genetic model // *Ore Geology Reviews*, 2008. № 34. P. 169–191.
8. Giuliani G., Dubessy J. et al. CO₂-H₂S-COS-S₈-AlO(OH)-bearing fluid inclusion in ruby from marble-hosted deposits in Luc Yen area, North Vietnam // *Chemical Geology*, 2003. № 194. P. 167–185.
9. Giuliani G., Fallick, A.E., Boyce, A.J., Pardieu, V., Pham, V.L.. Pink and red spinels in marble: trace elements, oxygen isotopes, and sources. // *Can. Mineral*, 2017. № 55. P. 743–761.
10. Hauzenberger C.A., Häger T., Hofmeister W., Quang V.X., Rohan Fernando G.W.A. Origin and formation of gem quality corundum from Vietnam. Geo- and Materials-Science on Gem-Minerals of Vietnam // *Proceedings of the International Workshop*, 2003.
11. <https://phongnhakebang.vn/> (дата обращения 18.04.2021) (1)
12. Huong L.T.T., Haeger T. et al. Study of impurity in blue spinel from the Luc Yen mining area, Yen Bai province, Vietnam // *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 2017. №40. P. 47–55.
13. Khoi N.N., Hauzenberger C.A. et al. Mineralogy and petrology of gneiss hosted corundum deposits from the Day Nui Con Voi metamorphic range, Ailao Shan-Red River shear zone (North Vietnam) // *N. Jb. Miner. Abh. (J. Min. Geochem.)*, 2016. №193. P. 161–181.

14. Kissin A. et al. Ruby-sapphire-spinel mineralization in the marbles of the Middle and Southern Urals: Geology, mineralogy, genesis. // *Geol. Ore Depos.*, 2016. № 58. P. 385–402.
15. Kissin A. et al. The First Find of Cr₂O₃ Eskolaite Associated with Marble-Hosted Ruby in the Southern Urals and the Problem of Al and Cr Sources // *Minerals*, 2020. № 101. P. 1–11.
16. Kušnír I. Mineral resources of Vietnam // *Acta Montanistica Slovaca*, 2000. № 5. P. 165–172.
17. Leloup P.H., et al. New constraints on the structure, thermochronology, and
18. Liem N.V. et al. Assessment of geomorphic processes and active tectonics in Con Voi mountain range area (Northern Vietnam) using the hypsometric curve analysis method // *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 2016. №38. P. 202–216.
19. Long P.V., Pardieu V. Update on Gemstone Mining in Luc Yen, Vietnam // *Gems and Gemology*, 2013. №49. P. 31–46.
20. Spiridonov E.M. Gemstone deposits of the former Soviet Union. // *J. Gemmol.*, 1998. № 26. P. 111–124.
- timing of the Ailo Shan-Red River shear zone, SE Asia // *Journal of Geophysical Research*, 2001. № 106. P. 6683–6732.
21. Trinh P.T., Liem N.V., et al. Late Quaternary tectonics and seismotectonics along the Red River fault zone, North Vietnam // *Earth-Science Reviews*, 2012. №114. P. 224–235.
22. Zuchiewicz W.,Cuong N. Young faults in northern Vietnam: a case study of the Red River Fault Zone // *Geoturystyka*, 2006. №1. P. 81–88.
23. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1990, 142 с.
24. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учеб. пособие для геогр., биол., геолог., с.-х. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1998, 413 с.
25. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов. М.: Научно-исследовательский совет РАН, 2018, 386 с.
26. Киевленко Е.Я. Поиски и оценка месторождений драгоценных и поделочных камней. М.: Недра, 1980, 164 с.
27. Киссин А.Ю., Мурзин В.В., Томилина А.В., Притчин М.Е. Рубин-сапфир-шпинелевая минерализация в мраморах Среднего и Южного Урала: геология, минералогия, генезис // *Геология рудных месторождения*, 2016. Т 58. №4. С. 385–402.
28. Куанг Ч.Х. Формирование линзы пресных подземных вод в юго-восточной части равнины Бакбо Северного Вьетнама и перспективы её использования для

водоснабжения. Автореферат диссертации на соискание научной степени. М., МГРИ, Кафедра гидрогеологии, 2006, 22 с.

29. Протасова Н.А. Химические элементы в жизни растений //Соросовский образовательный журнал, 2001. № 3. С. 25–32.

Таблица 2. Каталог образцов растений, отобранных в пределах горного массива Лук Йен

№	Название	Место отбора пробы	Подстилающие породы	Широта	Долгота	Видовая принадлежность растения
1	VB-21-1	Долина реки Bai Thai	Белые с/з мрамора	22,0987	104,756	MELASTOMATACEAE
2	VB-21-4	Долина реки Bai Thai	Серые мрамора	22,1002	104,753	POACEAE BAMBUSAE
3	VB-22-14	Месторождение Bai Bui	Светло-серые полосчатые гнейсы	22,0887	104,782	MELASTOMATACEAE
4	VB-22-15	Месторождение Bai Bui	Серый с/з мрамор	22,0872	104,781	POACEAE BAMBUSAE
5	VB-22-16	Месторождение Bai Bui	Белые с/з мрамора	22,0867	104,779	POACEAE BAMBUSAE
6	VB-22-17	Месторождение Bai Bui	Серый с/з мрамор	22,0899	104,774	POACEAE BAMBUSAE
7	VB-22-2	Месторождение Bai Bui	Белый пустой с/з мрамор	22,0882	104,787	RUBIACEAE IXORA
8	VB-22-3	В районе месторождения Bai	Серый к/з мрамор с включениями белого м/з	22,0882	104,787	ARALIACEAE

		Son				
9	VB-22-9	Месторождение Bai Bui	Белый с/з мрамор с россыпями рубинов и шпинелей	22,0885	104,785	не определена
10	VB-26-3	Карьер Серджио МаттеоллиMatteolli	Серые мрамора со слюдой	22,0962	104,8084	ERICACEAE
11	VB-27-8	Карьер Tuong Phu quarry (Анчизе)	Зеленовато-серый гранодиорит	22,0756	104,805	URTICACEAE BOENMERIA
12	VB-28-6a	Карьер Phan Thanh	Белые мрамора	21,9785	104,8046	URTICACEAE BOENMERIA
13	VB-28-6b	Карьер Phan Thanh	Белые мрамора	21,9785	104,8046	POACEAE BAMBUSA
14	VB-29-1	Долина реки Bai Thai	Белые сливные доломитовые мрамора	22,0761	104,7488	RUBIACEAE IXORA
15	VB-29-10	Долина реки Bai Thai	Рубиновый эллювий	22,065	104,7374	URTICACEAE
16	VB-29-13	Долина реки Bai Thai	Белые мрамора	22,065	104,7374	FABACEAE BOUHINIA
17	VB-29-5	Долина реки Bai Thai	Белые полосчатые мрамора с графитом	22,0696	104,738	не определена
18	VB-30-1	Западный борт реки Chay	Аллювий	22,0773	104,754	ACANTHACEAE
19	VB-30-2	Западный борт	Аллювий	22,0727	104,762	POACEAE BAMBUSA

		реки Chay				
20	VB-30-3	Западный борт реки Chay	Аллювий	22,0691	104,766	не определена
21	VB-30-4	Западный борт реки Chay	Аллювий	22,0691	104,766	POACEAE BAMBUSA
22	VB-30-5a	Западный борт реки Chay	Аллювий	22,0591	104,774	EUPHORBIACEAE
23	VB-30-5b	Западный борт реки Chay	Аллювий	22,033	104,773	RUTACEAE ZANTHOXYLYM
24	VB-30-6	Западный борт реки Chay	Аллювий	22,0446	104,777	EUPHORBIACEAE
25	VB-31-1	Месторождение Cong Troi	Мрамор серый с прослойками графита	22,065	104,7374	LAURACEAE
26	VB-31-13	Месторождение Cong Troi	Розовая шпинель с клиногумитом и графитом в белом мраморе	22,0342	104,811	URTICACEAE BOENMERIA
27	VB-31-20	Месторождение Cong Troi	Белый м/з мрамор с редкой розовой шпинелью	22,0341	104,812	не определена
28	VB-31-21	Месторождение Cong Troi	Белый с/з мрамор	22,0338	104,813	URTICACEAE PILAEA
29	VB-32-1	Карьер Ан ФуAnh	Белые мрамора	22,0722	104,85	FABACEAE

		Phu				
30	VB-32-2	Карьер Anh Phu Карьер Ан Фу	Мрамор серый полосчатый с прослойками графита	22,0462	104,835	ANACARDIACEAE
31	VB-32-3	Карьер Anh Phu Карьер Ан Фу	Мрамор серый полосчатый с графитом	22,0099	104,837	POACEAE BAMBUSA
32	VB-32-6	Карьер Anh Phu Карьер Ан Фу	Белые к/з граниты	21,9797	104,837	POACEAE BAMBUSA
33	VB-32-9	Карьер Anh Phu Карьер Ан Фу	Белые мрамора	22,0454	104,845	EUPHORBIACEAE
34	VB-34-1	В районе г. Йен Те	Серый крупнозернистый мрамор с клиногумитом и графитом	22,0968	104,7922	RUBIACEAE IXORA
35	VB-36-1	Месторождение Bai Son	Мрамор с бледно-лиловой шпинелью в оторочке паргасита	22,0026	104,8158	RUTACEAE CITRUS
36	VB-36-4	Месторождение Bai Son	Серый мрамор с красной шпинелью	22,0003	104,8182	LAURACEAE
37	VB-36-5	Месторождение Bai Son	Белый к/з мрамор	22,0006	104,8194	PIPERACEAE
38	VB-37-1	Месторождение Bai Son	Белые мрамора	22,0947	104,7615	RUBIACEAE IXORA

39	VB-37-2	Месторождение Bai Son	Белые мрамора	22,0945	104,7615	MORACEAE FICUS
40	VB-37-3	Месторождение Bai Son	Белые мрамора	22,0944	104,7614	RUBIACEAE IXORA
41	VB-37-4	Месторождение Bai Son	Белые мрамора	22,0942	104,7614	RUBIACEAE IXORA
42	VB-37-5	Месторождение Bai Son	Белые мрамора	22,0941	104,7612	RUBIACEAE IXORA
43	VB-37-6	Месторождение Bai Son	Белые мрамора	22,094	104,761	не определена
44	VB-38-1	Месторождение Bai Bui	Серый мрамор с графитом	22,0933	104,799	MORACEAE FICUS
45	VB-38-2	Месторождение Bai Bui	Серый мрамор с графитом	22,0926	104,799	не определена
46	VB-38-4	Месторождение Bai Bui	Серый с/з мрамор	22,0909	104,8	не определена
47	VB-39-8	Месторождение Pal Bor	Белые мрамора	22,0015	104,832	POACEAE BAMBUSA
48	VB-39-9a	Месторождение Pal Bor	Белые мрамора	21,9706	104,855	URTICACEAE
49	VB-39-9б	Месторождение Pal	Белые мрамора	21,9706	104,855	EUPHORBIACEAE

		Bor				
50	VB-39-9в	Месторождение Pal Bor	Белые мрамора	21,9706	104,855	BIGNONIACEAE
51	VB-40-1	Месторождение May Trung	Серые с/з мрамора с розовым корундом	22,0341	104,8089	URTICACEAE BOEHMERIA
52	VB-40-10	Месторождение May Trung	Мрамора со шпинелью в линзовидных прожилках	22,0309	104,8104	URTICACEAE
53	VB-40-11	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0299	104,8103	LAURACEAE
54	VB-40-12	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0293	104,8114	RUBIACEAE IXORA
55	VB-40-13	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0284	104,8129	не определена
56	VB-40-14	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0292	104,814	RUBIACEAE IXORA
57	VB-40- 18a	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0341	104,809	RUBIACEAE IXORA
58	VB-40- 18б	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0341	104,809	RUTACEAE CITRUS
59	VB-40- 19a	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0343	104,809	APOCYNACEAE HOYA

60	VB-40-196	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0343	104,809	BALSAMINACEAE IMPATIENS
61	VB-40-20	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0341	104,809	не определена
62	VB-40-3	Месторождение May Trung	Мрамор с прослоями флогопита	22,0341	104,8089	не определена
63	VB-40-6	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0344	104,808	ACANTHACEAE
64	VB-40-7	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,0331	104,8093	URTICACEAE
65	VB-40-8	Месторождение May Trung	Белые мрамора	22,032	104,8097	MORACEAE FICUS
66	VB-40-9	Месторождение May Trung	Мрамор серый со шпинелью	22,0313	104,8099	не определена
67	VB-44-1	Месторождение Khe Khi	Мрамор белый с/з	22,0274	104,8117	ANACARDIACEAE
68	VB-44-4	Месторождение Khe Khi	Белые мрамора	22,0257	104,8108	URTICACEAE
69	VB-44-5	Месторождение Khe Khi	Мрамор с мелкой синей шпинелью	22,025	104,8113	MELASTOMATACEAE
70	VB-44-6	Месторождение	Серый с/з мрамор	22,0248	104,8106	RUBIACEAE IXORA

		Khe Khi				
71	VB-44-7	Месторождение Phan Than	Мрамор с рубинами и шпинелью	22,0239	104,8099	BEGONIACEAE BEGONIA
72	VB-44-8	Месторождение Phan Than	Мрамор с рубинами и шпинелью	22,0234	104,8095	FABACEAE BOUHINIA

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 3. Таблица концентраций химических элементов в растениях горного массива Лук Йен, С.Ветнам, в г/т.

	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Ca	K	Al	S	Si	P	Sr	Br	Ba	Rb	Ti	Cl	Co	Pb	As
VB-21-1	14,18	8,25	2,48	63,24	788,9 ₈	0,07	0,24	3982	6994	990	582	318	368	0,8	1,47	4,42	5,39	4,07	100	0,17	1,58	0,1
VB-21-4	15,99	30,4 ₉	1,56	319,85	32,75	1,07	1,22	5023	3553	42100	1179	66197	10369	10,62	11,74	15,23	5,07	19,25	7549	0,37	2,21	0,43
VB-22-14	14,86	4,79	4,08	47,78	871,3 ₈	0,75	0,46	6407	9876	295	1846	58	593	9,86	2,25	17,15	16,47	6,48	50	0,15	5,79	0,21
VB-22-15	12,45	28,9 ₆	1,29	109,17	83,68	5,91	0,14	3605	3392	42294	1408	66874	11129	2,02	62,73	8,92	10,59	3,38	7985	0,04	1,45	0,41
VB-22-16	17,17	8,3	1,49	115,32	122,5 ₂	7,83	0,76	9422	6315	338	1106	48650	560	6,35	16,41	7,94	25,18	9,52	1260	0,33	6,44	0,38
VB-22-17	14,82	9,26	0,86	85,14	17,71	4,77	0,64	6880	10693	155	1131	49679	565	4,55	14,33	28,35	29,69	6,16	1258	0,12	3,33	0,22
VB-22-2	23,9	32,8 ₆	0,96	71,6	29,6	0,58	0,07	11460	6888	38075	1812	50762	12338	5,22	5,88	11,72	47,07	3,3	8320	0,1	6,06	0,29
VB-22-3	70,04	10,1 ₇	0,1	62,92	106,7 ₄	0,03	0,12	26591	23137	913	596	200	175	8,29	5,79	27,72	74,25	8,45	1763	0,13	9,48	0,58
VB-26-3	19,54	6,02	1,15	90,21	692,0 ₄	1,67	0,94	14424	6371	829	1155	1446	1024	8,89	14,66	14,82	22,92	12,14	1370	0,19	5,74	0,23
VB-27-8	11,4	22,5 ₆	1,71	75,77	118,2 ₉	0,48	0,17	34081	5529	6329	400	2678	4400	13,05	80,03	16,22	1,65	7,52	4844	0,03	4,74	0,97
VB-28-6	16,17	43,8	0,47	99,01	39,6	0,68	0,3	24403	11249	32400	675	33808	12896	16,05	294,9 ₇	32,64	24,18	5,16	5405	0,1	5,96	0,32
VB-28-6	16,17	43,8	0,47	99,01	39,6	0,68	0,3	24403	11249	32400	675	33808	12896	16,05	294,9 ₇	32,64	24,18	5,16	5405	0,1	5,96	0,32
VB-29-1	7,47	26,5 ₇	0,28	38,93	7,44	1,1	0,07	8641	5095	46904	1567	71549	7263	5,01	2,99	25,79	1,73	7,48	4368	0,12	0,94	0,11
VB-29-10	16,19	41,7 ₄	0,98	72,31	108,4 ₇	9,35	0,11	32213	10233	37134	603	51986	11163	11,87	4,64	18,48	15,86	1,7	6681	0	5,45	0,41
VB-29-13	11,95	27,0 ₅	0,1	47,52	28,91	1,11	0,05	17788	7552	39466	970	70982	4581	4,08	3,18	15,65	24,29	3,25	1628	0,27	4,95	0,45
VB-29-5	12,26	28,0 ₅	0,44	42,73	12,39	1	0,82	3150	9433	40865	3971	68163	11239	1,44	0,94	9,37	1,88	2,96	2791	0,03	2,38	0,11
VB-30-1	11,29	13,7 ₁	4,93	59,39	876,2 ₅	1,45	0,65	12966	5182	17381	1342	835	276	47,43	36,5	226,0 ₆	37,01	3,01	120	0,22	4,1	0,17
VB-30-2	13,33	26,7 ₆	0,77	60,09	56,04	0,37	0,08	6371	4820	37189	1199	54136	13709	9,74	4,6	17,84	10,25	3,2	3147	0,16	3,49	0,42
VB-30-3	28,55	31,9 ₆	0,9	36,57	384,6 ₉	0,95	0,33	9668	4478	44801	2126	73764	11232	15,94	3,26	24,07	11,26	0,43	3351	0,06	0,82	0,37

VB-30-4	21,1	6,3	0,66	95,76	188,5 3	2,29	0,57	4138	8668	296	1479	74600	479	8,39	5,02	32,51	9,42	21,14	556	0,03	2,4	0,11
VB-30-5	14,42	21,2 6	1,66	49,44	55,92	0,8	0,32	7164	13700	38332	1045	43150	13085	5,96	3,51	24,55	35,38	1,91	1837	0,02	2,82	0,16
VB-30-5	14,38	24,3 5	1,45	90,03	55,95	1,43	0,43	7573	10994	40066	541	44881	13675	8,12	7,64	18,71	33,88	5,59	2083	0,1	4,78	0,47
VB-30-6	18,32	35,3 8	2,39	139,02	27,09	0,01	0,39	11472	8004	40350	429	34731	13521	23,82	10,23	64,47	25,56	10,33	5089	0,08	4,41	0,46
VB-31-1	23,29	21,5 4	0,72	40,21	104,2	0,74	0,01	14969	13092	38605	536	46493	13373	6,6	3,39	13,29	32,09	0,85	1648	0,04	2,44	0,2
VB-31-13	12,59	29,9 4	1,14	63,93	36,58	0,07	0,32	28682	4223	37091	737	60107	8259	9,31	17,96	11,91	1,89	3,48	7550	0,08	7,2	0,53
VB-31-20	43,89	5,41	0,39	97,19	21,92	0,04	0,33	11372	8096	364	1099	291	1439	4,14	2,99	7,56	19,74	12,07	378	0,23	3,35	0,47
VB-31-21	14	14,3 1	0,58	37,57	57,88	1,06	0,01	14240	23122	6501	586	322	1098	3,33	9,17	10,75	28,36	0,3	3116	0,05	9,38	0,47
VB-31-5	41,21	24,4 1	0,18	69,71	48,61	0,55	0,34	7928	3223	39412	726	41239	13447	6,1	6,34	7,6	2,35	4,89	2510	0,17	3,62	0,58
VB-32-1	30,55	13,1 6	1,47	145,38	161,6 4	1,67	0,36	26265	5870	1678	778	740	801	11,43	8,59	8,57	16,1	16,65	1015	0,3	8,67	0,56
VB-32-2	11,37	9,17	0,4	81,75	33,3	0,34	0,25	17809	5919	1031	665	100	497	10,32	20,68	7,62	6,79	10,01	2703	0,19	4,47	0,11
VB-32-3	10,39	27,8 3	1,64	108,87	37,29	5,34	0,24	5091	4733	36932	406	39806	13718	6,52	5,74	19,83	17,38	6,52	4317	0,19	2,61	0,17
VB-32-6	16,39	11,5 3	0,53	87,35	50,9	3,43	0,13	3099	11372	876	1559	32129	1109	4,46	6,03	12,72	34,45	6,12	1378	0,21	6,91	0,31
VB-32-9	14,98	29,9 7	1,12	67,08	70,28	7,04	0,16	14817	4408	42212	2287	58753	10687	7,58	10	19,77	9,42	8,1	2838	0,06	4,77	0,51
VB-34-1	27,05	23,0 2	0,46	182,57	32,12	0,48	0,25	11387	12766	1155	1800	503	2157	5,26	15,72	9,49	54,13	20,03	3530	0,06	2,01	0,05
VB-36-1	18,65	46,4 4	0,62	156,22	15,39	0,62	1,43	25511	4995	37809	1223	53094	9205	31,03	14	20,57	12,67	16,11	4609	0,7	6,06	0,65
VB-36-4	19,47	25,9 5	0,71	64,13	63,01	0,89	0,32	10165	14470	37271	1233	49837	13125	5,84	4,5	10,95	36,19	2,22	3953	0,01	2,7	0,19
VB-36-5	22,87	30,3 1	2,88	229,55	60,55	0,04	1,6	15330	15466	38981	606	43497	13324	4,94	21,17	11,83	30,54	18,58	8230	0,27	4,48	0,23
VB-36-6	83,37	8,72	0,1	74,62	23,96	1,14	0,81	19438	8832	1090	880	106	105	9,29	4,24	16,53	14,39	6,65	519	0,09	6,07	0,68
VB-37-1	12,05	37,4	3,18	133,05	20,82	0,35	0,17	7957	5118	37979	1458	53340	12305	6,43	6,84	9,64	19,73	2,59	4621	0,08	8,24	0,39
VB-37-2	10,7	17,2	0,01	80,35	17,6	1,21	1,44	11250	12931	42363	356	34364	13520	8,11	3,05	7,99	16,1	5,85	2530	0,07	3,25	0,17
VB-37-3	10,97	31,7 9	0,8	36,37	16,16	1,27	0,05	2916	7202	38673	1871	69011	10690	0,65	9,18	10,78	31,79	0,65	8249	0,02	6,26	0,42
VB-37-4	24,77	29,3 7	0,27	33,37	69,17	1,11	0,33	9349	5422	40608	1777	50117	10066	5,92	13,85	9,65	3	1,71	2272	0,03	4,91	0,21

VB-37-5	14,44	26,8 2	0,05	86,45	28,78	0,25	0	8069	8634	41467	1883	64167	11482	13,02	13,9	10,6	20,85	4,07	6668	0,16	1,62	0,32
VB-37-6	23,78	31,1 9	1,83	91,75	21,48	0,1	0,15	11728	7885	38213	1583	65907	10371	14,69	40,15	13,05	20,11	7,3	7826	0,02	6,58	0,98
VB-38-1	12,11	40,5 9	1,17	67,93	71,58	0,44	0,44	28971	3506	34409	527	69532	9655	24,78	38,53	8,07	8,88	4,2	7246	0,11	6,01	0,54
VB-38-2	22,24	38,8 1	0,56	58,46	50,78	0,46	0,68	17781	4402	37259	1772	53340	11914	15,57	3,23	7,63	28,99	3,6	4083	0,34	7,95	0,82
VB-38-4	24,77	24,5	0,58	82,79	55,46	1,86	0,29	15973	15336	36652	122	547	215	15,82	31,58	15,52	18,69	4,27	957	0,08	5,68	0,59
VB-39-8	17,97	31,1	1,45	99,51	44,51	3,2	0,03	2848	7815	37914	1940	75333	10132	1,25	35,14	17,96	157,3 5	6,26	8304	0,11	3,84	0,4
VB-39-9	26,92	12,4 9	0,91	105,28	164,3 1	0,67	0,03	13738	20315	828	2161	2982	2908	9,5	12,17	11,37	66,29	7,77	475	0,06	8,84	0,49
VB-39-9	14,41	20,3 7	0,17	81,26	268,9 9	0,48	0,84	17854	6214	5969	1485	36	1809	11,6	19,85	20,75	18,43	7,83	655	0,12	9,63	0,8
VB-39-9-1	21,3	40,2	1,15	89,64	119,2	0,05	0,22	9479	7570	39245	1331	57083	9865	4,71	14,72	18,31	47,51	4,56	4165	0,09	5,52	0,55
VB-39-9-2	12,23	41,2	0,62	71,62	217,9 9	0,38	0,54	13995	2584	39761	1122	73497	8375	10,95	18,62	18,24	11,14	4,32	4350	0,19	6,04	0,56
VB-40-1	10,55	30,2 1	1,43	46,61	25,57	0,54	0,65	26048	3286	39669	1730	66229	10322	11,01	32,21	17,28	0,7	4,25	5568	0,09	3,92	0,3
VB-40-10	21,01	42,2 7	0,54	65,99	15,7	0,2	1,2	33686	8407	36940	3177	55370	10626	17,78	22,03	17,03	23,65	4,7	5884	0,01	5,6	0,37
VB-40-11	22,68	15,7 3	1,92	124,27	391,0 7	1,87	1,01	15815	7340	39215	16	533	299	5,51	12,31	15,27	9	9,61	2519	0,2	6,19	0,46
VB-40-12	10,71	32,3 7	0,5	60,59	53,47	1,27	0,23	12409	2977	43409	1433	56047	8113	7,41	5,55	11,48	11,9	0,61	5540	0,12	2,92	0,42
VB-40-13	10,41	22,4 4	0,98	48,4	11,68	0,79	0,76	15007	14617	38202	570	33946	12765	10,17	4,58	16,85	42,79	0,77	1561	0,03	5,16	0,55
VB-40-14	24,28	34,9 5	0,54	74,17	16,06	0,22	0,33	33524	5724	35628	504	39806	9591	18,7	16,29	47,55	41,51	8,73	7958	0,09	7,56	0,78
VB-40-18	17,64	13,5 9	0,6	107,71	14,44	0,19	0,08	17957	3813	6815	199	200	300	8,1	2,3	7,57	7,09	12,41	5	0,16	7,68	0,47
VB-40-18	20,9	30,7 7	1,18	88,23	23,23	0,13	0,22	30039	6896	39085	179	40224	9582	33,55	9,54	19,88	15,66	6,14	4984	0,45	7,19	0,73
VB-40-19	19,52	20,6	0,59	183,55	59,21	0,23	1	9891	3208	40345	60	554	103	5,46	4,88	9,99	9,97	22,72	395	0,41	5,31	0,84
VB-40-19	19,3	39,7 2	0,65	74,74	35,81	2,6	0,3	25278	4272	36167	4426	68163	11941	11,25	8,38	19,09	25,86	4,55	6981	0,08	6,89	0,5
VB-40-20	17,64	5,78	0,42	106,97	31,12	0,34	0,53	14833	4102	295	554	235	280	8,69	9,74	7,24	17,22	7,03	1031	0,37	2,95	0,22
VB-40-3	26,65	31,6 5	0,88	61,71	21,7	0,69	0,06	14797	7519	40716	2375	61214	10764	5,67	10,23	25,5	21,09	5,2	6439	0	3,21	0,49
VB-40-6	20,36	20,3 8	0,08	55,22	15,46	0,72	0,38	33887	5105	36847	100	554	3755	11,1	11,17	14,86	8,74	1,49	5476	0,13	7,94	0,34

VB-40-7	24,74	6,8	0,6	94,63	49,15	1,23	0,23	35215	16208	357	686	3154	500	13,48	19,21	11,09	18,38	7,96	1939	0,11	10,09	0,4
VB-40-8	13,51	19,8 5	0,37	44,2	15,32	0,29	0,51	16193	10485	36847	100	549	313	7,33	3,28	7,46	11,97	1,49	236	0,17	3,76	0,39
VB-40-9	10,48	10,6 7	0,12	52,06	18,35	0,69	0,07	7661	18900	6175	754	100	1046	2,07	2,93	6,27	11,83	1,46	1081	0,02	8,08	0,37
VB-44-1	27,44	22,8 9	0,81	57,83	40,23	0,34	0,47	16721	14421	5903	882	300	1107	9,96	12,47	9,34	29,65	3,92	1555	0,23	5,49	0,54
VB-44-5	25,3	37,4 5	0,91	136,49	44,08	0,46	1,3	22831	10077	37454	1771	59738	11569	11,2	8,76	13,71	13,51	12,71	8236	0,19	5,89	0,84
VB-44-6	20,12	36,9 5	1,43	142,75	41,58	0,13	1,01	9048	16458	40116	5148	58261	8820	7,42	7,28	12,14	28,25	12,58	4879	0,06	9,43	1,19
VB-44-7	17,39	33,5 5	0,85	82,31	24,75	0,55	0,42	17502	7917	39587	1781	64844	8584	7,42	9,33	10,65	32,44	4,75	2635	0,28	5,11	0,42
VB-44-8	15,64	35,3	0,69	70,35	11,37	0,48	0,03	12931	3202	41263	1461	57207	11617	4,06	3,72	13,66	6,49	4,28	3667	0,15	5,53	0,45